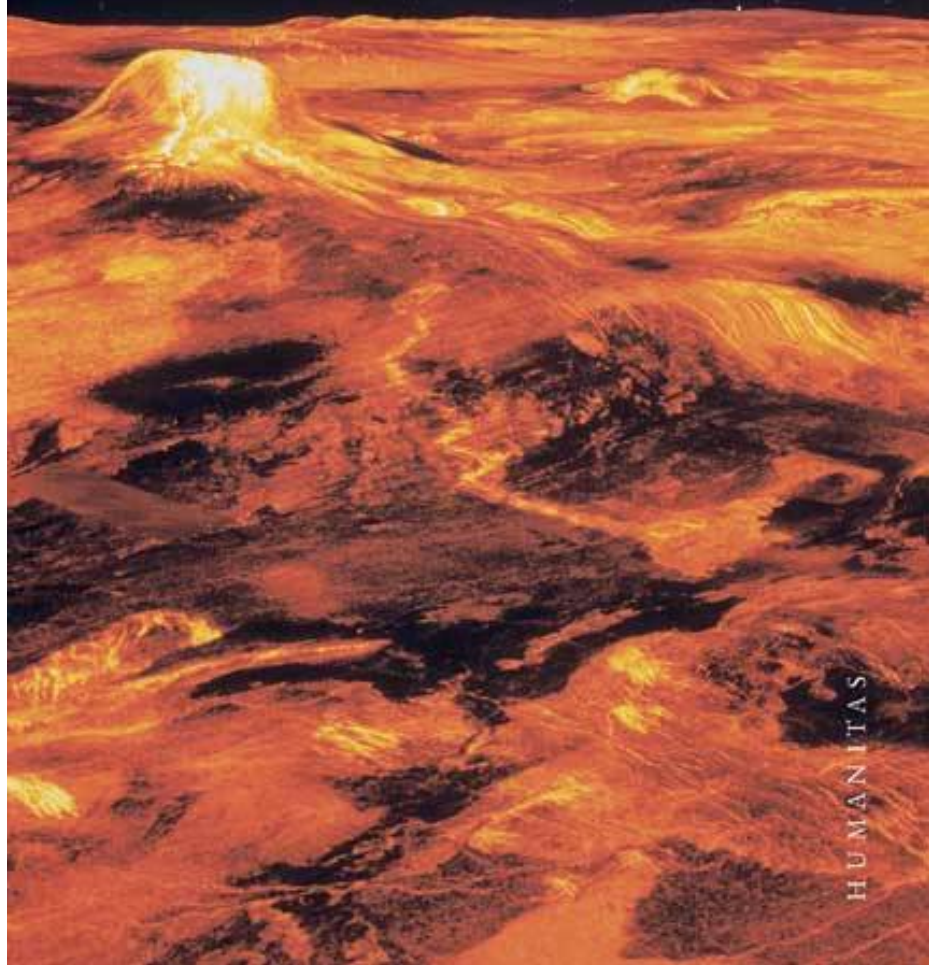


JOHN D. BARROW

Originea universului



HUMANITAS

JOHN D. BARROW

ORIGINEA UNIVERSULUI

Traducerea din engleză de
ALEXANDRU DAVID

EDITURA HUMANITAS
1994

ISBN 978-973-50-1257-1

The Origin Of The Universe

CUPRINS

ORIGINEA UNIVERSULUI

Prefață

1. Universul pe înțelesul tuturor
 2. Marele catalog al universului
 3. Singularitatea și alte probleme
 4. Inflația și particulele elementare
 5. Inflația și cercetările satelitului COBE
 6. Timpul – o și mai scurtă istorie
 7. În labirint
 8. Noi dimensiuni
- ### Bibliografie

JOHN D. BARROW este profesor de matematică și fizică teoretică la Universitatea Cambridge. Este autorul a peste 300 de articole științifice în domeniile cosmologiei și astrofizicii. A participat de asemenea la proiectul Millennium, o inițiativă care urmărește îmbunătățirea înțelegerii matematicii de către publicul larg. Între cele 15 cărți publicate se numără: *The Left Hand of Creation* (împreună cu John Silk), *Pi in the Sky*, *Theories of Everything*, *The Anthropic Cosmological Principle* (împreună cu Frank Tipler), *The World within the World*.

*Pentru Dennis și Bill,
cosmologi, adevărați domni și dascăli,
cărora mulți dintre noi le datorăm enorm*

*Frumoase sunt lucrurile pe care le vedem,
Mai frumoase încă sunt cele pe care le
înțelegem,
Dar cele mai frumoase sunt acelea
pe care nu le putem cuprinde cu mintea*

Niels Steensen (Steno)
1638—1686

Prefață

Trăim în universul ajuns la deplina lui înflorire, mult timp după ce majoritatea evenimentelor spectaculoase au avut deja loc. Privește cerul într-o noapte înstelată și vei vedea câteva mii de stele, cele mai multe din ele străpungând bezna într-o mare fâșie pe care o numim Calea Lactee. Asta e tot ce știau cei din vechime despre univers. Cu timpul, pe măsură ce au apărut telescoape cu putere de rezoluție din ce în ce mai mare, un univers neînchipuit de vast s-a ivit vederii noastre. O mulțime de stele se adună în insule de lumină numite galaxii, iar de jur-împrejurul galaxiilor se întinde un ocean rece de microunde – ecou al big bang-ului de acum 15 miliarde de ani. Timpul, spațiul și materia par să-și aibă originile într-un eveniment exploziv din care s-a născut universul de astăzi într-o stare de expansiune generală, răcindu-se încet și rarefiindu-se continuu.

La început, universul a fost un infern de radiații, prea fierbinte pentru ca vreun atom să poată supraviețui. În primele minute, s-a răcit suficient pentru ca nucleele și elementele cele mai ușoare să se formeze. Abia câteva milioane de ani mai târziu cosmosul a devenit suficient de rece pentru a apărea atomi întregi, urmați curând de molecule simple, iar, după miliarde de ani, de șirul complex de evenimente care au dus la condensarea materiei în stele și galaxii. Apoi, odată cu apariția

condițiilor planetare stabile, au rezultat complicatele produse ale biochimiei prin procese pe care încă nu le înțelegem. Dar cum și de ce a fost inițiat acest șir subtil de evenimente? Ce ne pot spune cosmologii zilelor noastre despre începutul universului?

Diferitele povestiri din vremurile străvechi despre creație nu sunt teorii științifice în sens modern. Ele nu încercau să dezvăluie ceva nou despre structura lumii; erau destinate pur și simplu să gonească spectrul necunoscutului din închipuirile omului. Găsindu-și locul în ierarhia creației, cei din vechime puteau să se raporteze la lume și să evite teribila confruntare cu necunoscutul sau cu incognoscibilul. Descrierile științei moderne trebuie să ne ofere mult mai mult. Ele trebuie să fie îndeajuns de profunde pentru a ne spune despre univers mai mult decât punem noi în ipotezele noastre. Ele trebuie de asemenea să se extindă îndeajuns pentru a putea face predicții, astfel încât să putem testa capacitatea lor de a explica lucruri pe care le cunoaștem deja despre lume. Ele trebuie să dea coerență și unitate unei mulțimi de fapte disperate.

Metodele folosite de cosmologii moderni sunt simple, însă nu neapărat evidente pentru neinițiați. Până la proba contrară, ele pornesc, de la presupunerea că legile care conduc lumea local, aici, pe Pământ, sunt valabile pretutindeni în univers. Există locuri în univers, mai ales în trecutul lui, în care condițiile de densitate și temperatură sunt extreme, ceea ce se află în afara experienței noastre directe pe Pământ. Uneori ne așteptăm ca teoriile noastre să fie valabile în aceste domenii – și într-adevăr așa se și întâmplă. În alte împrejurări însă, apelăm la aproximații ale legilor adevărate din natură – aproximații care au limite de aplicabilitate cunoscute. Când ajungem la aceste limite, trebuie să încercăm să găsim noi aproximații adaptate condițiilor neobișnuite pe care le întâlnim. Multe teorii fac predicții ce nu pot fi testate prin observație. Acest

gen de predicții determină în numeroase cazuri tipul de observator sau de satelit ce urmează să fie conceput.

Cosmologii vorbesc adesea despre construirea „modelelor cosmologice”. Ei înțeleg prin asta generarea unor descrieri matematice simplificate ale structurii și trecutului universului, descrieri matematice simplificate ale structurii trecutului universului, descrieri care să surprindă principalele sale trăsături. După cum un aeromodel reproduce unele dintre caracteristicile avionului real, dar nu pe toate, la fel și un model de univers nu poate spera să cuprindă fiecare detaliu al structurii universului. Modelele noastre cosmologice sunt foarte grosolane și simple. Ele încep prin a trata universul ca pe un ocean complet uniform de materie. Aglomerarea materiei în stele și galaxii e ignorată. Abia când cercetezi aspecte mai delicate, cum ar fi originea stelelor și a galaxiilor, apar abateri de la perfecta uniformitate considerată inițial. Această strategie funcționează remarcabil. Una dintre cele mai frapante trăsături ale universului nostru este faptul că partea sa vizibilă e atât de bine descrisă de modelul-simplificat al distribuției uniforme a materiei.

O altă trăsătură importantă a modelelor noastre cosmologice este că implică proprietăți – ca densitatea sau temperatura – ale căror valori numerice pot fi găsite doar prin observații, iar numai anumite combinații ale valorilor observate pentru unele dintre aceste cantități sunt compatibile cu modelul. Astfel, compatibilitatea dintre model și universul real poate fi verificată.

În explorarea universului au fost urmate mai multe direcții. În afară de sateliți, nave spațiale și telescoape, am folosit microscopie, acceleratoare și ciocniri între atomi, calculatoare și gândire umană pentru a ne lărgi înțelegerea privind întregul mediu cosmic. În afară de lumea spațiului extraterestru – stele, galaxii și mari structuri cosmice –, am ajuns să prețuim subtilitățile labirintice ale adâncului din microcosmos. Aici am găsit

lumea subatomică a nucleelor și a componentelor lor: cărămizile elementare ale materiei – atât de puține la număr, atât de simple ca structură, dar care în combinație pot fi organizate în uriașa gamă a complexității pe care o vedem pretutindeni în jurul nostru și din care facem și noi parte.

Aceste două frontiere ale cunoașterii – lumea microscopică a părților elementare ce constituie materia și lumea astronomică a stelelor și galaxiilor – s-au unit în chip neașteptat în vremea din urmă. Dacă odinioară ele reprezentau domenii aparținând unor grupuri diferite de savanți ce încercau să răspundă la întrebări destul de diferite prin mijloace separate, acum preocupările și metodele lor sunt intim legate. Secretul nașterii galaxiilor poate fi dezvăluit de studiul particulelor elementare în detectori îngropați adânc sub pământ; identitatea acelor particule elementare poate fi stabilită prin observații asupra luminii, provenind de la o stea îndepărtată. Și, dacă încercăm să reconstituim istoria universului cercetând urmele fosile din copilăria și adolescența sa, aflăm că, reunind aspectele cele mai mari și cele mai mici ale lumii fizice, percepem mai bine unitatea impresionantă a universului.

Această carte își propune să prezinte pe scurt începutul pentru uzul începătorilor. Ce mărturii avem privind istoria timpurie a universului? Care sunt cele mai recente teorii despre nașterea universului? Le putem oare testa prin observație? Cum se raportează existența noastră de ele? Acestea sunt unele dintre întrebările care vor apărea în călătoria noastră spre originile timpului. Voi prezenta unele dintre cele mai noi teorii despre natura timpului, „universul inflaționar”, „găurile de vierme” și voi explica semnificația observațiilor făcute de satelitul COBE, observații care au fost primite cu entuziasm în primăvara anului 1992.

Doresc să mulțumesc colegilor și colaboratorilor mei cosmologi pentru discuțiile purtate și descoperirile lor

care au făcut posibilă apariția acestei povestiri moderne despre originea universului. Anthony Cheetham și John Brockman au avut ideea acestui proiect. Rămâne de văzut dacă a fost înțelept din partea lor să mă invite să particip. Aș vrea de asemenea să le mulțumesc lui Gerry Lyons și Sarei Lippincott pentru îndrumările lor cu caracter editorial. Soția mea, Elizabeth, mi-a acordat un mare sprijin și astfel am dus mai repede lucrarea la bun sfârșit, fără să fiu obligat să-mi abandonez complet alte preocupări. Ca de fiecare dată, ei îi datorez totul. Doar pe tinerii membri ai familiei – David, Roger și Louise – proiectul a părut să nu-i impresioneze. Totuși, ei îl îndrăgesc pe Sherlock Holmes.

Brighton, martie 1994

1.

Universul pe înțelesul tuturor

„Vă mulțumesc”, spuse Sherlock Holmes, „că mi-ați atras atenția asupra unui caz care fără îndoială prezintă unele trăsături interesante.”

Căinele din Baskerville

Cum, de ce și când a apărut universul? Cât de mare e? Ce formă are? Din ce e alcătuit? Acestea sunt întrebări pe care orice copil curios le-ar putea pune, dar sunt și întrebări cu care cosmologii zilelor noastre se luptă de mai multe decenii. Pentru ziariști și autorii de știință popularizată, unul din motivele de atracție ale cosmologiei este acela că multe probleme de la frontierele acestui domeniu sunt ușor de prezentat. Luați de exemplu frontierele electronicii cuantice, ale secvențelor de ADN, ale neurofiziologiei sau ale matematicii pure, și nu veți găsi probleme pe care specialistul să le poată traduce atât de ușor în limbajul de zi cu zi.

Până la începutul secolului XX, nici filosofi și nici astronomii nu s-au îndoit că spațiul e absolut fix – o arenă în care stelele, planetele și toate celelalte corpuri cerești își desfășoară mișcarea. În cursul anilor 1920 însă, această reprezentare simplă a suferit transformări: întâi sub imboldul fizicienilor care cercetau consecințele

teoriei lui Einstein privind gravitația, apoi sub imboldul observațiilor făcute de astronomul american Edwin Hubble asupra luminii provenind de la stele din galaxii îndepărtate.

Hubble a făcut apel la o proprietate simplă a undelor. Dacă sursa lor se îndepărtează de receptor, atunci frecvența cu care undele sunt receptate scade. Ca să înțelegeți despre ce e vorba, mișcați din deget în sus și în jos într-o apă liniștită și priviți crestele valurilor care se îndreaptă spre un punct oarecare de pe suprafața apei. Deplasați acum degetul, îndepărtându-l de acel punct și continuând să faceți valuri, iar valurile vor ajunge acolo cu o frecvență mai scăzută decât cea cu care sunt emise. Deplasați apoi degetul spre punctul de recepție, iar frecvența va crește. Această proprietate caracterizează toate undele. În cazul undelor sonore, ea e răspunzătoare de schimbarea tonului la șuieratul locomotivei sau la sirena mașinii de poliție care trece pe lângă voi. Lumina e și ea o undă, iar când sursa ei se îndepărtează de observator scăderea frecvenței undelor luminoase se traduce prin faptul că lumina vizibilă receptată pare ceva mai roșatică. De aceea efectul e numit „deplasare spre roșu”. Când sursa luminoasă se apropie de observator, frecvența receptată crește, lumina vizibilă devine mai albastră, iar efectul e numit „deplasare spre albastru”.

Hubble a descoperit că lumina provenind de la galaxiile pe care le privea prezenta o deplasare spre roșu sistematică. Măsurând valoarea deplasării, el putea determina cât de repede se îndepărtează sursele de lumină, iar prin compararea strălucirii aparente a stelelor de același tip (stele a căror strălucire intrinsecă trebuie să fie aceeași) putea deduce distanțele lor relative față de noi. Hubble a descoperit că, cu cât sursa de lumină se afla mai departe, cu atât se îndepărta mai repede de noi. Această tendință poartă numele de Legea lui Hubble, iar în figura 1.1 e ilustrată prin date recente.

Figura 1.2 prezintă un exemplu de semnal luminos receptat de la o galaxie îndepărtată, spectrul deplasat spre roșu al diversilor atomi fiind comparat cu cel emis de aceiași atomi în laborator.

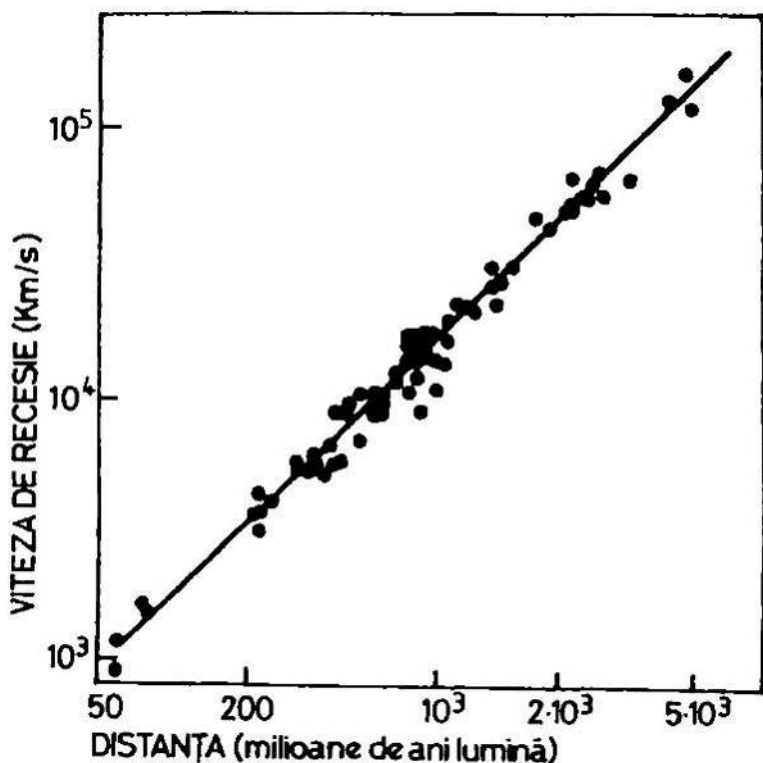


Figura 1.1. O ilustrare modernă a Legii lui Hubble care prezintă creșterea direct proporțională a vitezei de îndepărtare (recesie) a galaxiilor în raport cu distanța.

Ceea ce descoperise Hubble era expansiunea universului. În locul unei arene neschimbătoare în care să putem urmări perindarea locală a planetelor și stelelor, el a găsit că universul se afla într-o stare dinamică. A fost cea mai mare descoperire a științei secolului XX și a confirmat previziunile teoriei generale a relativității privind universul: nu poate fi static. Atracția

gravitațională dintre galaxii le-ar aduna laolaltă dacă nu s-ar îndepărta unele de altele. Universul nu poate rămâne nemișcat.

Dacă universul se află în expansiune, atunci când inversăm sensul istoriei și privim spre trecut ar trebui să găsim dovezi că el provine dintr-o stare mai mică, mai densă – o stare ce pare să fi avut la un moment dat dimensiunea zero. Acesta este începutul care a devenit cunoscut sub numele de big bang (marea explozie).

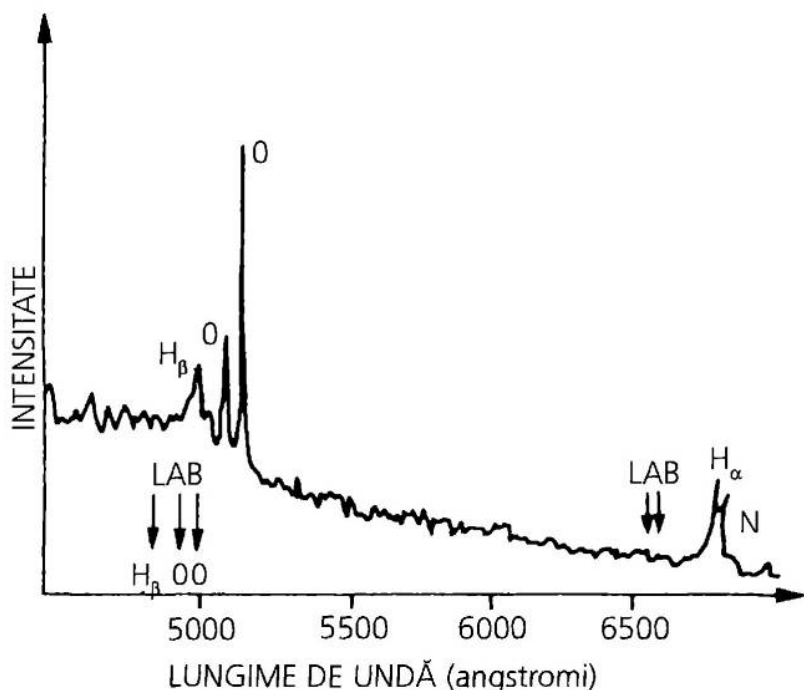


Figura 1.2. Spectrul unei galaxii îndepărtate (cunoscută sub numele de Markarian 609) care arată că trei linii spectrale (notate cu H_β, O și O), în jurul lungimii de undă de 5000 Å, și două (notate cu H_α, N), în jurul lungimii de undă de 6500 Å, sunt sistematic deplasate spre lungimi de undă mai mari decât cele măsurate în laborator. Pozițiile liniilor obținute în laborator sunt indicate prin săgețile notate LAB; pozițiile măsurate sunt marcate prin vârfurile graficului spectrului. Deplasarea spre roșu

(lumina roșie vizibilă e în jurul lungimii de unda de 8000
Ă) permite calcularea vitezei de îndepărtare

Dar am mers puțin prea repede. Rămân lucruri importante de spus privind expansiunea actuală a universului, înainte de a începe să răscolim trecutul. Înainte de toate, trebuie precizat ce anume se află în expansiune. În filmul *Annie Hall*, Woody Allen stă întins pe canapeaua psihanalistului și vorbește despre spaima care-l cuprinde când se gândește la expansiunea universului: „Asta înseamnă că Brooklyn-ul se dilată, eu mă dilată, tu te dilată, cu toții ne dilatăm.” Slavă Domnului, se înșela. Noi nu ne dilatăm. Nici Brooklyn-ul. Nici Pământul. Nici sistemul solar. De fapt, nici Calea Lactee. Nici măcar conglomeratele de mii de galaxii pe care le numim roiuri galactice. Aceste ansambluri de materie sunt menținute prin forțele chimice și gravitaționale care acționează între constituenții lor – forțe mai puternice decât forța expansiunii.

Numai dacă trecem dincolo de scara marilor roiuri de sute și mii de galaxii putem vedea că expansiunea învinge atracția gravitațională locală. De pildă, vecinul nostru cel mai apropiat, galaxia Andromeda, se îndreaptă spre noi pentru că atracția gravitațională dintre Andromeda și Calea Lactee e mai puternică decât efectul expansiunii universale. Nu galaxiile însele, ci abia roiurile galactice pot fi considerate etaloane ale expansiunii cosmice. Pentru a căpăta o imagine simplă, închipuiți-vă firele de praf de pe suprafața unui balon care se umflă. Balonul se va dilata, iar firele de praf se vor îndepărta unele de altele, dar nu se vor dilata în același fel. Ele reprezintă etaloane pentru gradul de întindere a cauciucului. În mod analog, cel mai bine e să privim dilatarea universului ca pe dilatarea spațiului dintre roiurile de galaxii, așa cum se vede în figura 1.3.



Figura 1.3. Dilatarea universului privită ca dilatarea spațiului. Punctele marcate pe suprafața balonului reprezintă roiuri de galaxii. Spațiul dintre roiuri crește, dar nu și dimensiunea roiurilor. Acesta e analogul unui univers cu două dimensiuni spațiale, reprezentat de suprafața balonului. Orice roi de pe suprafața care se dilată vede toate celelalte roiuri îndepărtându-se de el. Observați că centrul dilatării nu se află pe suprafața balonului.

Ne-am putea apoi teme de implicațiile faptului că toate roiurile galactice se îndepărtează de *noi*. De ce de noi? Dacă știm ceva din istoria științei, știm ce a demonstrat Copernic: Pământul nu e centrul universului. Desigur, dacă ne-am închipui că toate se îndepărtează de *noi*, ne-am instala din nou în centrul imensității. Însă nu e cazul. Universul în expansiune nu seamănă cu o explozie care își are originea *într-un* punct din spațiu. Nu există un spațiu fix pe fundalul căruia universul să se dilate. Universul conține tot spațiul existent!

Gândiți-vă la spațiu ca la o foaie elastică. Prezența și mișcarea materiei pe acest spațiu maleabil va produce adâncituri și curburi. Spațiul curbat al universului nostru este ca suprafața tridimensională a unei mingi cvadridimensionale – ceva ce nu ne putem imagina. Închipuiți-vă însă universul ca pe o foaie, fără grosime, având numai două dimensiuni spațiale. E ca suprafața unei mingi tridimensionale, ceea ce e mai ușor de reprezentat. Închipuiți-vă apoi că această minge tridimensională se poate mări – ca balonul din figura 1.3 care se umflă. Suprafața balonului este universul

bidimensional în expansiune. Dacă marcăm două puncte pe el, aceste puncte se îndepărtează unul față de altul pe măsură ce balonul se dilată. Faceți apoi mai multe semne pe suprafața balonului și umflați-l din nou. Veți observa că indiferent în ce punct v-ați situa, toate celelalte puncte vor părea că se îndepărtează de voi în timp ce balonul se umflă. Vizualizați astfel legea expansiunii a lui Hubble, căci punctele aflate la distanță mai mare se îndepărtează unele față de altele mai repede decât cele aflate la distanță mai mică. Morala acestui exemplu e că suprafața balonului reprezintă spațiul, însă „centrul” dilatării balonului nu se află pe suprafață. Nu există vreun centru al dilatării pe suprafața balonului. Nici margine nu există. Nu puteți cădea de pe marginea universului; universul nu se dilată în interiorul a ceva. El este tot ce există.

O întrebare pe care am putea-o pune în acest stadiu este dacă starea de expansiune a universului la care suntem martori va continua la nesfârșit. Dacă aruncăm o piatră în sus, ea se va întoarce pe Pământ atrasă de forța gravitației terestre. Cu cât o aruncăm mai puternic, cu atât mai multă energie îi vom imprima pietrei în mișcare și cu atât mai sus se va ridica înainte de a se întoarce. Știm că, dacă lansăm un proiectil cu o viteză mai mare de 11 kilometri pe secundă, el va scăpa complet atracției gravitaționale terestre. Aceasta este viteza critică de lansare a rachetelor. Savanții o numesc „viteză de evadare” de pe Pământ.

Considerații asemănătoare se aplică oricărui sistem în explozie sau expansiune care e încetinit de atracția gravitațională. Dacă energia mișcării de expansiune o depășește pe cea generată de atracția spre interior a gravitației, atunci materia va depăși viteza de evadare și își va continua expansiunea. Dacă însă atracția pe care gravitația o exercită asupra fragmentelor este mai mare, obiectele aflate în expansiune vor începe până la urmă să se apropie unele de altele, așa cum se întâmplă în

exemplul cu Pământul și piatra. La fel se întâmplă și cu universurile în expansiune; există o viteză critică de lansare la începutul expansiunii lor. Dacă viteza depășește această valoare critică, atunci atracția gravitațională a materiei dintr-un asemenea univers nu va putea opri expansiunea, iar ea va continua la nesfârșit. Pe de altă parte, dacă viteza de lansare e mai mică decât valoarea critică, în cele din urmă expansiunea se va opri și procesul va fi inversat, culminând cu o contracție către dimensiune zero – exact aceeași stare de la care a pornit. Între aceste două cazuri extreme se află ceea ce eu aș numi un „univers de compromis”, care are exact viteza critică de lansare – adică valoarea cea mai mică ce îl va menține în expansiune pentru totdeauna (vezi figura 1.4). Unul dintre marile mistere ale universului nostru este că în momentul de față se dilată într-un mod tulburător de apropiat acestui caz critic. Atât de aproape, încât deocamdată nu putem spune cu certitudine de ce parte a pragului critic se află. Nu cunoaștem prognoza pe termen lung.

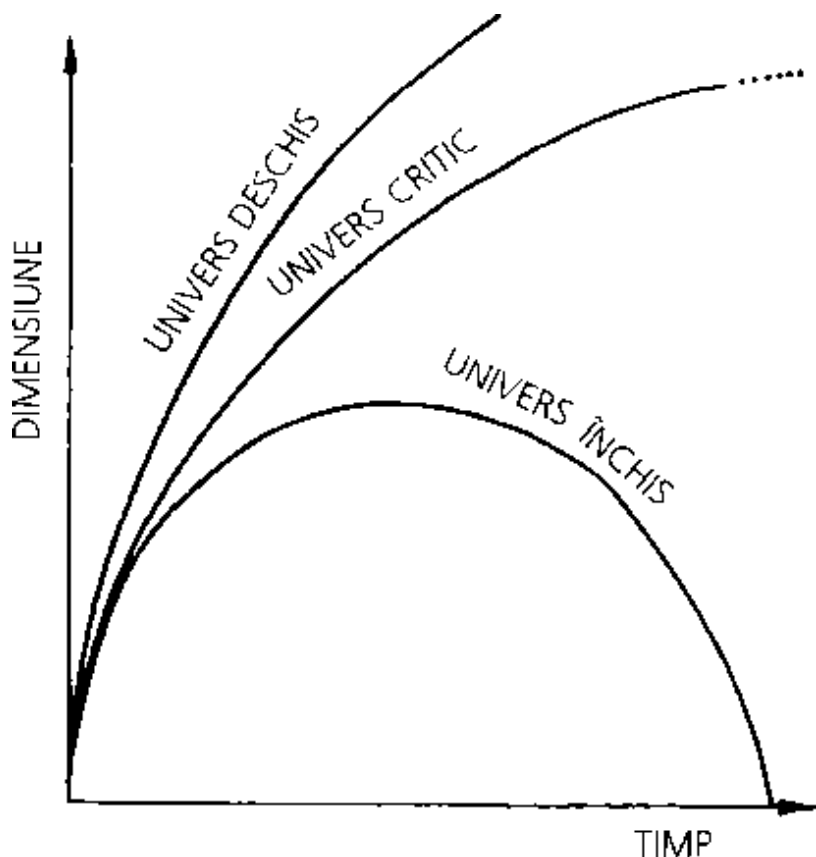


Figura 1.4. Cele trei tipuri de univers în expansiune. Universurile „deschise” sunt infinite în mărime și se dilată la nesfârșit. Universurile „închise” sunt finite și sfârșesc prin a se contracta până la marea implozie (*the big crunch*). Granița dintre cele două tipuri e reprezentată de universul „critic”, care e infinit ca mărime și se extinde la nesfârșit.

Cosmologii consideră faptul că ne aflăm atât de aproape de acest prag critic o proprietate stranie a universului, care se cere explicată. E greu de înțeles pentru că, pe măsură ce universul se dilată și îmbătrânește, el se îndepărtează din ce în ce mai mult de pragul critic, dacă, la început, viteza sa de lansare nu va fi fost cumva exact viteza critică. Acest fapt creează o

mare problemă. Universul se dilată de aproximativ cincisprezece miliarde de ani și e în continuare atât de aproape de pragul critic încât nu putem spune de care parte a ei se află. Pentru a rămâne atât de aproape după o perioadă uriașă de timp, ar trebui ca viteza de lansare a universului să fi fost „aleasă” astfel încât să difere de cea critică cu nu mai mult de unu împărțit la zece urmat de treizeci și cinci de zerouri. De ce? Vom vedea mai târziu că încercările noastre de a afla ce s-a întâmplat în primele momente ale expansiunii universului oferă o posibilă explicație pentru această situație neobișnuită. Deocamdată ne vom mulțumi să înțelegem de ce un univers care conține ființe umane trebuie să se afle foarte aproape de pragul critic după miliarde de ani de expansiune.

Dacă universul începe să se dilate cu o viteză mult mai mare decât cea critică, atunci gravitația nu ar putea niciodată aduna laolaltă acele insule locale de materie spre a forma galaxii și stele. Formarea stelelor este un pas crucial în evoluția universului. Stelele sunt condensări ale materiei suficient de mari pentru a crea în centrele lor presiuni suficient de ridicate ca să inițieze reacții nucleare spontane. Aceste reacții transformă hidrogenul în heliu de-a lungul unei perioade îndelungate și calme a istoriei lor – la jumătatea căreia se află soarele nostru – însă, în etapa finală a vieții lor, stelele se confruntă cu o criză de energie. Ele parcurg o perioadă explozivă de schimbări rapide în care heliul este transformat în carbon, azot, oxigen, siliciu, fosfor și toate celelalte elemente care joacă un rol vital în biochimie. Când stelele explodează devenind supernove, aceste elemente se răspândesc în spațiu și în cele din urmă intră în alcătuirea planetelor și oamenilor.

Stelele sunt sursa tuturor elementelor pe care se întemeiază complexitatea, și prin urmare viața. Nucleul fiecărui atom de carbon din corpul nostru își are originea în stele.

Vedem astfel că universurile care se dilată mult mai repede decât pragul critic nu vor da niciodată naștere la stele și deci nu vor produce niciodată cărămizile elementare necesare apariției unor entități atât de complexe ca ființele umane sau calculatoarele construite pe bază de siliciu. Pe de altă parte, dacă un univers se dilată cu mult sub viteza critică, expansiunea se transformă în contradicție înainte ca stelele să fi avut timpul să se formeze, să explodeze și să creeze constituenții lumii vii. Avem iarăși de-a face cu un univers incapabil să dea naștere vieții.

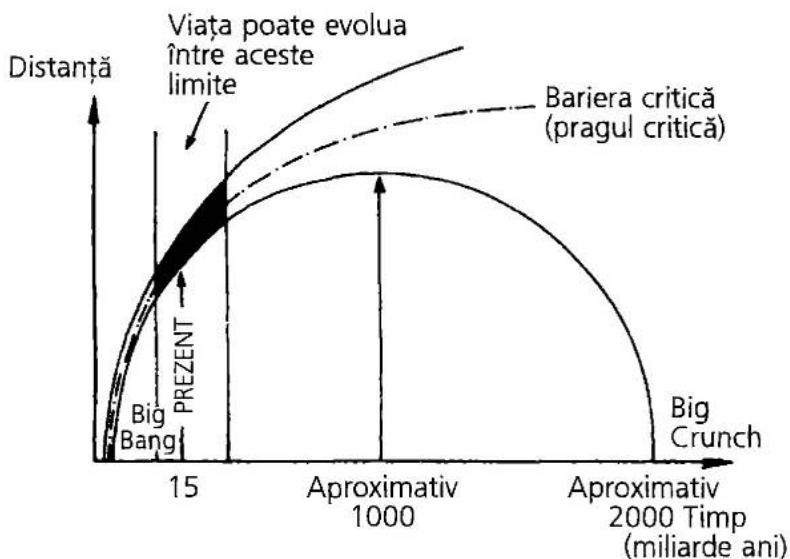


Figura 1.5. Universurile care sunt mult peste pragul critic se dilată prea repede pentru ca materia să se condenseze în stele și galaxii; asemenea universuri rămân lipsite de viață. Cele care sunt mult sub pragul critic colapsează înainte ca stelele să se formeze. Regiunea înșelată reprezintă domeniul expansiunilor cosmologice și epocilor în care pot apărea observatori.

Primim astfel o lecție surprinzătoare: numai acele universuri care se dilată foarte aproape de pragul critic

pot produce, după miliarde de ani, materia care alcătuiește toate structurile suficient de complexe pentru a fi considerate „observatori”. N-ar trebui să ne surprindă să constatăm că universul nostru se dilată atât de aproape de pragul critic. Nu am putea exista într-un altfel de univers.

Dezvoltarea reprezentărilor noastre privind universul în expansiune și reconstituirea istoriei sale a înaintat foarte încet. În anii '30 preotul și fizicianul belgian Georges Le Maître a jucat un rol important. Teoria sa despre „atomul primordial” a fost precursora a ceea ce este acum cunoscut sub numele de big bang. Cei mai importanți pași au fost făcuți în ultima parte a anilor '40 de George Gamow, un emigrant rus sosit în Statele Unite, și de doi din tinerii săi studenți, Ralph Alpher și Robert Herman. Ei au început să ia în serios posibilitatea aplicării fizicii pe care o cunoșteau pentru a deduce ce s-a petrecut în stadiile timpurii ale universului în expansiune. Ei au descoperit un aspect esențial: dacă universul s-ar fi format într-o stare fierbinte, densă într-un trecut îndepărtat, ar trebui să fi rămas niște radiații de pe urma acestui început exploziv. Mai exact, ei și-au dat seama că atunci când universul avea o vârstă de câteva minute trebuie să fi fost suficient de fierbinte pentru ca să aibă pretutindeni loc reacții nucleare. Mai târziu, aceste remarcabile observații aveau să fie confirmate de cercetări mai aprofundate.

În 1948, Alpher și Herman au prezis că radiația remanentă provenită din marea explozie, care s-a răcit datorită expansiunii universului, ar avea acum o temperatură de aproximativ cinci grade peste zero absolut (zero absolut înseamnă -273°C), adică cinci grade Kelvin. Ipoteza lor a rămas însă îngropată în literatura de specialitate. Cincisprezece ani mai târziu, alți oameni de știință s-au ocupat de problema originii unui univers fierbinte, în expansiune, dar niciunul nu

cunoștea lucrarea lui Alpher și Herman. Pe atunci comunicarea nu însemna ce înseamnă azi. Reconstituirea detaliilor istoriei vechi a universului nu era privită de fizicienii din anii '50 și de la începutul anilor '60 ca o activitate serioasă. Dar în 1965 totul s-a schimbat. Câmpul de radiație cosmică al lui Alpher și Herman – sub forma unui zgomot de microunde venind cu aceeași intensitate din toate direcțiile – a fost descoperit întâmplător de Arno Penzias și Robert Wilson, doi ingineri de la Laboratoarele Bell, New Jersey, care calibrau o antenă radio foarte sensibilă pentru recepția semnalelor de la primul satelit Echo. Intre timp, la doar câțiva kilometri distanță, la Universitatea Princeton, un grup condus de fizicianul Robert Dicke refăcuse în mod independent calculele publicate cu mulți ani în urmă de Alpher și Herman și începuse proiectarea unui detector pentru studiul radiației remanente a big bang-ului. Au aflat despre zgomotul inexplicabil din receptorul de la Laboratoarele Bell și l-au interpretat imediat drept radiația fosilă pe care o căutau. Dacă sursa era într-adevăr radiația termică, temperatura ei trebuia să fie aproximativ $2,7^{\circ}\text{K}$ – foarte aproape de estimarea inspirată a lui Alpher și Herman. Fenomenul a fost denumit „radiația cosmică de fond de microunde”.

Descoperirea fondului cosmic de microunde a reprezentat începutul studiului serios al modelului big bang. Treptat, noi observații au dezvăluit alte proprietăți ale radiației de fond. Ea avea aceeași intensitate în toate direcțiile, cu o abatere de sub unu la mie. Iar, când intensitatea a fost măsurată la diferite frecvențe, a început să apară variația caracteristică a intensității în funcție de frecvență care e amprenta căldurii pure. Această radiație poartă numele de „radiația corpului negru”. Din păcate, absorbția și emisia radiației de către moleculele din atmosfera terestră i-a împiedicat pe astronomi să confirme că întregul spectru al radiației era într-adevăr cel al radiației termice. Exista

posibilitatea ca ea să fi fost produsă de evenimentele violente petrecute undeva în univers mult după începutul expansiunii. Aceste dubii puteau fi risipite numai prin observarea radiației dintr-un punct situat deasupra atmosferei terestre. Măsurarea întregului spectru din spațiul cosmic a fost primul mare succes al satelitelui COBE (*Cosmic Background Explorer*) în 1989. Era cel mai desăvârșit spectru al radiației de corp negru care s-a văzut vreodată în natură și o elocventă confirmare a faptului că universul a fost odinioară cu sute de mii de grade mai fierbinte decât astăzi (vezi figura 1.6). Căci numai în aceste condiții extreme radiația din univers putea lua forma celei de corp negru cu atâta precizie.

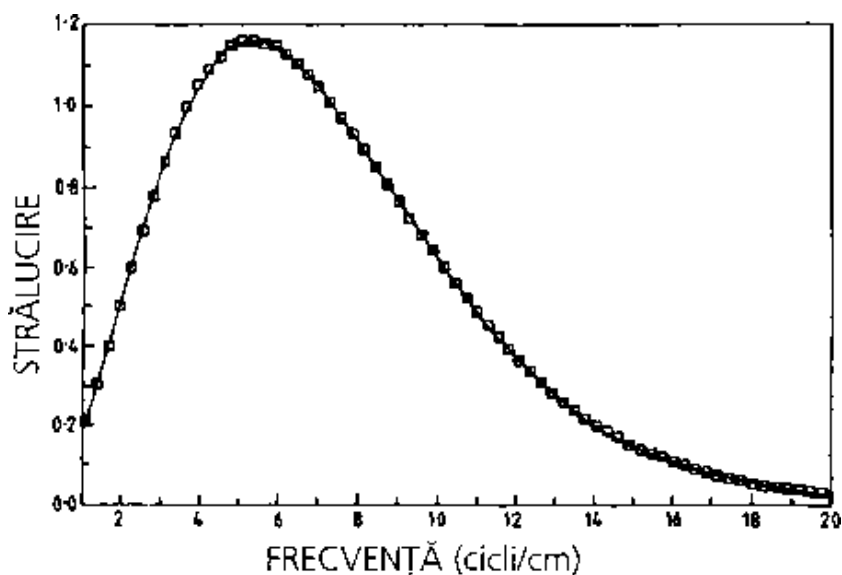


Figura 1.6. Variația intensității radiației de fond de microunde în funcție de frecvență, înregistrată de satelitul COBE deasupra atmosferei terestre. Observațiile (micile pătrate) urmează perfect curba (continuă) corespunzând radiației termice pure la temperatura de $2,73^{\circ}\text{K}$.

Un alt experiment crucial pentru a confirma faptul că

radiația de fond nu are o origine recentă, undeva în universul apropiat, a fost efectuat în avioane U2 care zboară la altitudini mari. Aceste avioane, folosite înainte vreme ca avioane-spion, sunt foarte mici, însă au anvergură mare, ceea ce face din ele platforme stabile, ideale pentru observații. Cu acest prilej ele priveau spre cer și nu spre sol, iar astfel au detectat o variație mică dar sistematică a intensității radiației – variație care fusese prezisă dacă radiația își avea originea în trecutul îndepărtat. Dacă radiația ar forma un ocean în expansiune uniformă, apărut din perioadele timpurii ale universului, atunci noi ne-am mișca prin acel ocean. Rezultatul mișcării Pământului în jurul Soarelui, a Soarelui în Calea Lactee, a Căii Lactee printre vecinii săi, și așa mai departe, este că ne deplasăm prin radiație într-o direcție anume (vezi figura 1.7). Intensitatea radiației e mai mare în acea direcție și mai mică în direcție opusă și trebuie să prezinte o variație caracteristică de tip cosinus pentru unghiurile intermediare (vezi figura 1.8). E ca și cum ai alerga prin furtună. Pe piept te uzi mai mult decât pe spate. În cazul nostru, microundele sunt mai intense în direcția de mișcare. Observațiile au dezvăluit o perfectă variație de tip cosinus, conform predicției.

Ulterior, mai multe experimente diferite au confirmat descoperirea „Marii Cosinusoide a Cerului”, așa cum a devenit cunoscută. Noi și roiul de galaxii în care ne aflăm ne mișcăm prin oceanul de microunde cosmice. Radiația nu putea deci să apară local, deoarece ar fi participat la această mișcare, iar variația de tip cosinus a intensității n-ar fi fost observată.

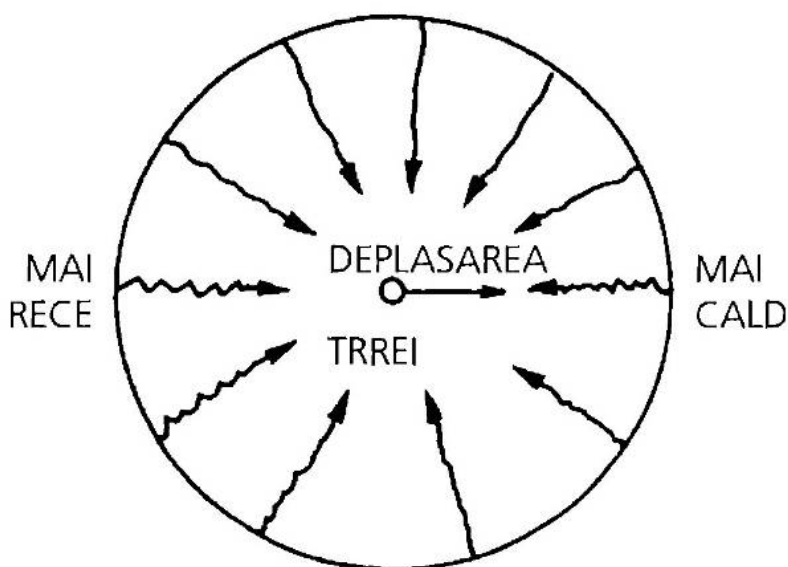


Figura 1.7. Deplasarea noastră prin oceanul izotrop de microunde provenite de la big bang. Măsurăm intensitatea maximă în direcția mișcării noastre și intensitatea minimă în direcția opusă, pentru unghiurile intermediare existând o variație de tip cosinus.

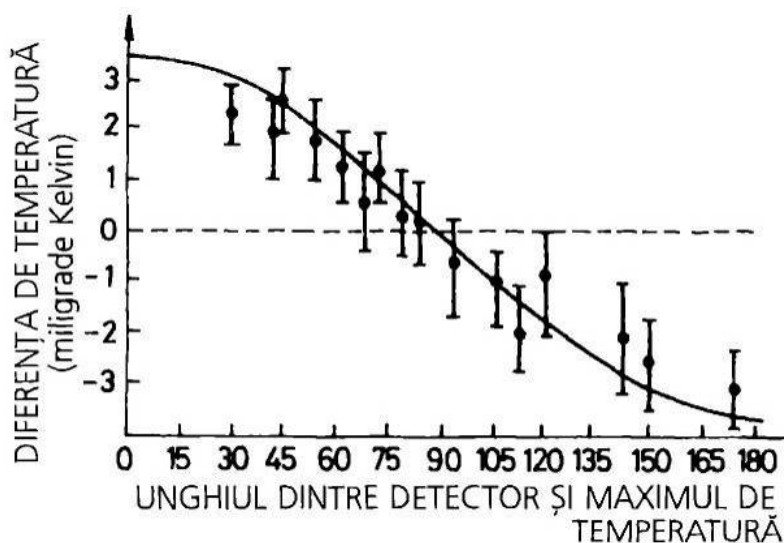


Figura 1.8. „Marea Cosinusoidă a Cerului” prezintă diferențele de temperatură ale radiației de fond (în miligrade Kelvin) când unghiul de observare variază de la direcția în care temperatura e maximă până la cea în care e minimă. Marjele de eroare indică precizia măsurării fiecărei temperaturi.

Mișcarea noastră prin radiația de fond provenind de la big bang nu este singura cauză care poate provoca ușoara variație a intensității de la o direcție la alta. Dacă universul se dilată diferit în direcții diferite, atunci radiația ar fi mai puțin intensă (mai rece) în direcțiile de expansiune mai rapidă. În plus, există mari concentrări de materie, precum și regiuni lipsite de materie, în unele direcții; ele ar schimba, la rândul lor, intensitatea radiației provenind din aceste direcții. Studiul acestor variații a fost obiectivul misiunii satelitului COBE, iar descoperirea lor a fost anunțată pe prima pagină a ziarelor din lumea întreagă în 1992.

Examinând toate aceste măsurători ale intensității radiației provenind din diferite direcții ale spațiului, aflăm multe lucruri uimitoare despre structura universului. Descoperim că el se dilată uniform în toate direcțiile, cu abateri mai mici de unu la mie. Spunem că expansiunea este izotropă, adică e aceeași în toate direcțiile. Dacă s-ar fi ales la întâmplare universuri posibile dintr-o menajerie cosmică, ar fi existat atunci nenumărate varietăți care se dilată în unele direcții mai rapid decât în altele, care se rotesc cu viteze mai mari sau care se contractă în unele direcții și se dilată în altele. Universul nostru este deosebit: el pare să se afle într-o stare neverosimil de bine ordonată, în care ritmul expansiunii e același în toate direcțiile, cu o mare precizie. E ca și cum ați găsi dormitoarele copiilor în ordine perfectă – o situație foarte puțin probabilă. Vă gândiți că trebuie să fi apărut o influență din afară. Tot astfel, trebuie să existe o explicație pentru uimitoarea izotropie a expansiunii universului.

Cosmologii au privit mult timp izotropia expansiunii universului ca pe un mister ce trebuia dezlegat. Modurile de abordare reflectă ceva din diferitele perspective asupra acestui subiect. Prima idee care ne vine în minte este să spunem că universul s-a dilatat izotrop de la bun început și că starea lui prezentă nu-i decât reflectarea condițiilor inițiale speciale. Lucrurile sunt așa cum sunt pentru că au fost așa cum au fost. Enunțată astfel, constatarea nu ne e de mare ajutor. Ea nu explică nimic. E ca un basm. Dar, desigur, ar putea fi adevărată. Dacă așa stau lucrurile, am putea spera să găsim un „principiu” profund care să explice starea inițială a expansiunii izotrope. Un asemenea principiu ar putea avea și alte consecințe locale prin care să se dezvăluie. Neajunsul acestei abordări e că pune sarcina explicării stării actuale a universului în întregime pe starea sa inițială necunoscută (și probabil imposibil de cunoscut).

O a doua abordare constă în a privi prezenta stare de lucruri ca pe o consecință a proceselor fizice care încă au loc în univers. Astfel, probabil că, indiferent cât de asimetrică era starea lui inițială, după miliarde de ani toate neregularitățile au dispărut, lăsând în urmă o stare de expansiune izotropă. Această abordare are meritul de a inspira posibile direcții de cercetare: Există oare procese cosmice care pot face să dispară neuniformitățile în expansiunea universului? Cât timp durează netezirea? Pot elimina aceste procese toate neregularitățile, sau numai pe unele dintre ele? Această abordare ne permite să spunem că, indiferent cum a început universul, există procese care apar inevitabil în istoria lui timpurie și care fac ca după cincisprezece miliarde de ani de expansiune să arate așa cum arată astăzi.

Deși pare atrăgătoare, această perspectivă are un neajuns. Dacă reușim să demonstrăm că starea actuală a universului apare indiferent de condițiile inițiale,

atunci observațiile noastre asupra structurii sale nu ne vor putea spune nimic despre aceste condiții inițiale, pentru că starea actuală ar fi compatibilă cu orice stare inițială. Dar dacă, dimpotrivă, structura actuală a universului – izotropia expansiunii și tiparele prezentate de roiurile de galaxii – reflectă parțial felul în care a început universul, ar fi cu puțință să aflăm câte ceva despre starea inițială universului observându-l astăzi.

2.

Marele catalog al universului

„Toți ceilalți sunt specialiști, dar specialitatea lui este știința atotcuprinzătoare.”

Planurile Bruce-Partington

Când Einstein și-a publicat teoria generală a relativității în 1915, ideea că universul e populat de acele vaste aglomerări de stele pe care le numim galaxii nu era larg răspândită. Se considera în general că aceste surse extraterestre de lumină – sau „nebuloase”, după cum erau numite – se aflau în galaxia noastră, Calea Lactee. În plus, astronomilor sau filosofilor nu le trecuse prin minte că universul înstelat putea fi altfel decât static. Acesta era cadrul intelectual în care Einstein și-a lansat noua sa teorie a gravitației. Spre deosebire de descrierea newtoniană clasică a forțelor gravitaționale, pe care teoria lui Einstein o îngloba și o înlocuia, teoria generală a relativității avea extraordinara capacitate de a descrie universurile în întregime, chiar dacă erau infinite în întindere. Până acum s-au găsit doar cele mai simple soluții ale ecuațiilor lui Einstein. Din fericire, cele extrem de simple descriu destul de bine universul pe care-l vedem.

Când Einstein a început să exploreze ce-i dezvoltău noile sale ecuații despre univers, el a făcut exact ce fac

de regulă savanții – a simplificat problema pentru a o putea rezolva. Universul real, cu toate detaliile lui nu întotdeauna semnificative, era mult prea complicat ca să poată fi abordat, așa încât Einstein l-a simplificat presupunând că materia e pretutindeni uniform distribuită. Cu alte cuvinte, a ignorat variațiile de la un loc la altul ale densității materiei care formează corpurile cerești. El a presupus de asemenea că universul arată la fel în toate direcțiile. Acestea, după cum știm acum, sunt aproximații excelente ale stării universului nostru, iar cosmologii le mai folosesc și în ziua de azi când vor să facă deducții privind evoluția generală a universului. Dar, spre marea sa mâhnire, Einstein a descoperit că ecuațiile sale cereau ca universurile de acest tip să se dilate sau să se contracte odată cu trecerea timpului. Nu era niciun mister aici. Același lucru e valabil și în descrierea newtoniană a gravitației. Dacă plasezi în spațiu un nor de particule de praf, ele vor începe să simtă o atracție gravitațională reciprocă; norul se va contracta treptat. Acest lucru poate fi împiedicat doar de o explozie care să îndepărteze particulele una de alta. Ele nu pot rămâne într-o stare neschimbată dacă nu intervine o altă forță care să se opună gravitației. În absența acestei forțe, atracția gravitațională dintr-o distribuție statică de stele și galaxii va provoca prăbușirea lor una spre alta.

Einstein a fost adânc tulburat de această predicție a teoriei sale. Se pare că-i lipsea curajul pentru a afirma că universul nu e static. Un univers în expansiune era o idee foarte ciudată la acea vreme. S-a apucat deci să caute căi prin care să-și modifice în mod justificat noua teorie a gravitației, așa încât să evite posibilitatea dilatării sau contracției universului. A observat că matematica îi permitea să introducă un termen reprezentând o forță de respingere care se opune forței de atracție a gravitației. Dacă includea acest termen – pe care el l-a numit „constantă cosmologică” – în teoria

generală a relativității, Einstein putea găsi acum un model în care respingerea să contrabalanseze exact atracția gravitațională.

Acest model a devenit cunoscut ca „universul static al lui Einstein” (vezi figura 2.1).

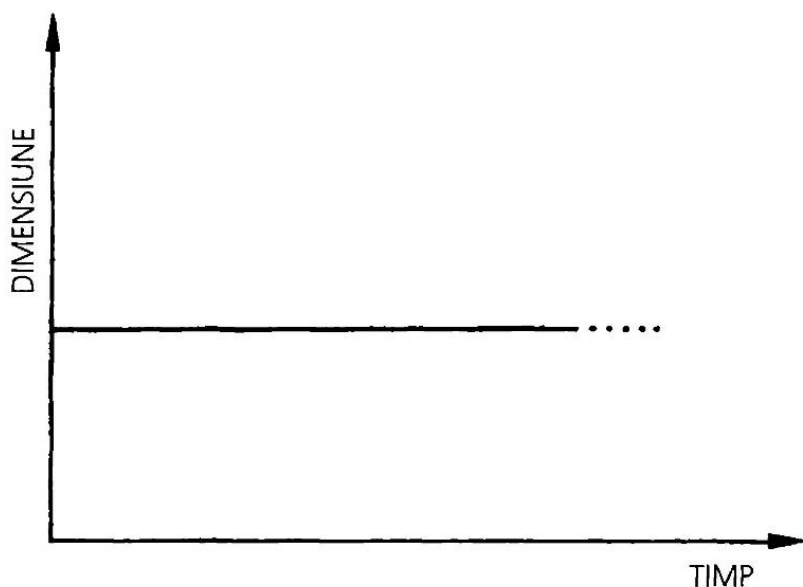


Figura 2.1. Un univers static are o dimensiune care nu se schimbă cu timpul. Nu are nici început, nici sfârșit.

În 1922, Alexander Friedmann, un tânăr matematician și specialist în fizica atmosferei din St. Petersburg, a studiat calculele lui Einstein și s-a convins că maestrul scăpase din vedere ceva crucial. Universul static era, evident, o soluție a ecuațiilor lui modificate, dar nu era singura. Existau altele care descriau universurile în expansiune pe care ecuațiile sale inițiale le impuneau. Expansiunea universului real nu putea fi împiedicată de forța antigravitațională a lui Einstein. Friedmann a găsit toate universurile posibile aflate în expansiune pe care ecuațiile relativității le permiteau și

i-a trimis rezultatele lui Einstein. La început, Einstein a crezut că Friedmann pur și simplu calculase greșit. Curând însă colegii lui Friedmann l-au convins de contrariu și a înțeles că includerea constantei cosmologice producea un univers static nerealist: dacă universul static al lui Einstein era modificat cât de puțin, el începea să se dilate sau să se contracte. Era versiunea cosmică a unui ac aflat în echilibru pe vârful său.

Mulți ani mai târziu Einstein a numit adoptarea constantei cosmologice „cea mai mare gafă a vieții mele”. Prin introducerea ei în ecuațiile sale, a ratat ocazia de a face senzaționala predicție că universul nostru se află în expansiune. Meritul acesta i-a revenit lui Alexander Friedmann. Din păcate, Friedmann nu a trăit să vadă confirmarea predicției sale prin observațiile efectuate de Edwin Hubble, șapte ani mai târziu, și acceptarea în cele din urmă a paradigmei universului în expansiune. Cercetările sale meteorologice l-au obligat pe Friedmann să facă ascensiuni periculoase cu balonul la altitudini mari – a deținut pentru un timp recordul mondial de altitudine –, iar în 1925 a murit din cauza urmărilor unui asemenea zbor. Moartea lui a însemnat o mare pierdere pentru știință. Avea numai treizeci și șapte de ani.

Deși Einstein moștenise ideea tradițională de univers static, aceasta nu înseamnă că predecesorii săi respinseseră posibilitatea de a se petrece vreo schimbare în starea universului. Cu toate că nu apăruse înainte ideea de expansiune universală sau de contracție, se făcuseră multe speculații asupra faptului că universul s-ar putea prăbuși într-o stare de dezordine din ce în ce mai mare, în care viața n-ar fi cu putință. Această perspectivă a apărut din cercetarea modului în care poate fi folosită căldura ca sursă de putere. Revoluția industrială adusese cu sine numeroase progrese importante în știință și tehnologie, dintre care cel mai

important a fost conceperea și înțelegerea funcționării mașinilor cu abur. Aceasta a dus la studiul căldurii ca formă de energie. Devenise limpede că energia e un produs care se conservă. Nu putea fi nici creată, nici distrusă, ci doar transformată dintr-o formă într-alta. Dar mai era ceva. Unele forme de energie sunt mai utile decât altele. Măsura utilității lor e o măsură a ordinii acelei forme sub care apare energia: cu cât e mai dezordonată, cu atât e mai puțin folositoare. Această dezordine, care a devenit cunoscută sub numele de „entropie”, pare să crească mereu în procesele naturale. La un anumit nivel, nu e niciun mister aici. Biroul vostru și dormitorul copiilor pare să treacă de la o stare de ordine la una de dezordine – niciodată invers. Există mai multe căi ca lucrurile să evolueze de la ordine la dezordine decât invers, așa încât prima tendință este cea pe care o vedem în practică. Această idee a fost păstrată cu sfințenie în faimoasa „lege a doua a termodinamicii”, care afirmă că entropia într-un sistem închis nu scade niciodată.

Fascinația pentru motoarele termice i-a făcut pe Rudolf Clausius – cel care a formulat această lege în 1850 și a inventat termenul „entropie” – și pe alții să considere universul însuși ca pe un sistem închis, supus acelorași legi ale termodinamicii. Aceasta a creat o perspectivă oarecum pesimistă pe termen lung: totul pare să conducă spre o stare nestructurată, neinteresantă, în care toate formele ordonate de energie s-ar afla în cele din urmă într-un proces de degradare. Ducând aceste idei până la concluzia lor logică, Clausius a introdus conceptul de „moarte termică” a universului; el a prezis că în viitor „universul va ajunge într-o stare de moarte eternă”, deoarece entropia va crește constant până când va atinge valoarea maximă posibilă, după care nu va mai avea loc nicio schimbare. Universul va rămâne în starea sa de entropie maximă, un ocean uniform și inform de radiație, același

pretutindeni. Nu va mai exista niciun fel de materie organizată, cum sunt stelele, planetele sau viața, ci doar radiație termică răcindu-se treptat până se ajunge la un echilibru final.

Alți oameni de știință au început să examineze consecințele acestei idei pentru trecutul îndepărtat și cețos.

Se părea că universul trebuie să fi avut un început – o stare de ordine maximă. În anul 1873, un influent filosof britanic al științei, William Jevons, scria:

Nu putem urmări istoria termică a universului pe o perioadă infinită în trecut. Pentru o anumită valoare negativă a timpului [adică în trecut] formulele dau valori imposibile, ceea ce arată că a existat o distribuție inițială a căldurii care nu ar fi putut rezulta, conform legilor cunoscute ale naturii, din vreo distribuție anterioară. [...] Acum, teoria căldurii ridică în fața noastră o dilemă: fie credem în Creație la o dată anume în trecut, fie presupunem că a avut loc o schimbare inexplicabilă în funcționarea legilor naturii.

Este surprinzător că acest argument în favoarea unui început al universului a apărut cu cincisprezece ani înaintea ideii de univers în expansiune. El a fost reluat de astrofizicianul britanic Arthur Eddington în anii '30, în contextul universurilor în expansiune care rezultau din teoria gravitației a lui Einstein și al confirmării expansiunii prin observațiile lui Hubble. Eddington scria:

Călătorind înapoi în timp, găsim o lume tot mai organizată. Dacă nu ne oprim, ajungem la un timp când materia și energia cosmosului au avut maximum de organizare posibilă. Mai departe nu se poate merge. Am ajuns la celălalt capăt al spațiului-timp – un sfârșit abrupt – pe care îl numim „începutul”. [...] Nu văd nicio dificultate în a accepta consecințele teoriei științifice actuale cu privire la viitor – moartea termică a universului. Pot fi miliarde de ani până atunci, dar nisipul se scurge în clepsidră încet și inexorabil. Nu mă sfiesc să trag concluzia asta. [...] E ciudat că doctrina declinului universului fizic este atât de des considerată

pesimistă și contrară aspirațiilor religiei. De când învățătura creștină care spune că „cerul și pământul vor trece” a devenit, ecleziastic vorbind, neortodoxă?

Noțiunea de „moarte termică a universului” a devenit din ce în ce mai cunoscută în anii '30 datorită popularizării ei în cărțile de mare succes ale lui Eddington și ale compatriotului său, astrofizicianul James Jeans. Împietirea imaginii de univers în veșnică expansiune cu moarta termică prezisă de Clausius a exacerbât ideea de continuă disoluție a conținutului universului într-o radiație termică neorganizată. Pesimismul acestei idei a pătruns în multe scrieri teologice și filosofice din epocă, ajungând chiar și în operele unor romancieri precum Dorothy Sayers. Se anunța inevitabila dispariție a vieții nu numai pe Pământ, ci pretutindeni.

E interesant de observat că argumentele în favoarea unui „început” aduse de Jevons și alții nu sunt prea corecte, dar nimeni la acea vreme nu pare să-și fi dat seama de ce. Deși cea de-a doua lege a termodinamicii cere ca entropia să fie mai mică pe măsură ce mergem înapoi în trecut, nu rezultă de aici că trebuie să ajungă la zero după un timp finit, așa cum se arată în figura 2.2.

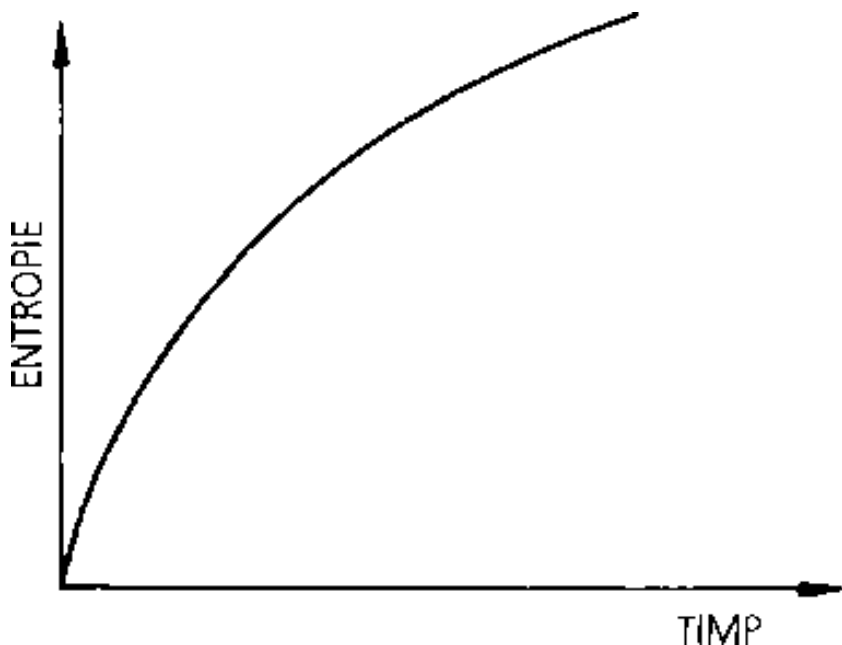


Figura 2.2. Creșterea entropiei pornind dintr-o stare de entropie zero, cu un timp finit în urmă.

Entropia ar putea să scadă exponențial, cu cât ne deplasăm în urmă în timp, și să se apropie tot mai mult de zero, fără să atingă efectiv valoarea zero, după cum se vede în figura 2.3.

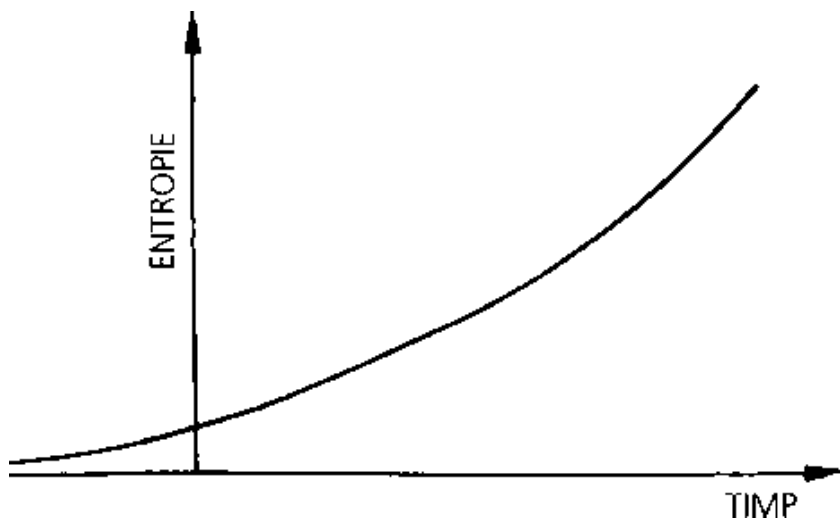


Figura 2.3. Alt univers posibil, în care entropia crește continuu, se apropie tot mai mult de zero în trecut, fără a atinge vreodată valoarea zero.

Pe de altă parte, entropia universului ar putea crește cu trecerea timpului, dar într-o anumită regiune ar putea scădea. Asta se și întâmplă în multe locuri în prezent. Pe măsură ce biosfera Pământului devine tot mai ordonată local, scăderea entropiei sale este compensată cu vârf și îndesat de creșterea globală a entropiei când schimbul de căldură între Pământ și Soare e luat în calcul. Dacă vă apucați să faceți un scaun din câteva bucăți de lemn, gradul de ordine crește în procesul de construcție – deci entropia scade. Dar nu există aici nicio violare a legii a doua a termodinamicii, deoarece entropia totală – care include cheltuiala de energie din amidonul și glucidele înmagazinate în trupul nostru, folosită în activitatea noastră – crește. Într-adevăr, complexitatea lumii vii pe care o vedem în jurul nostru e o manifestare a căilor subtile prin care natura poate obține scăderi locale ale entropiei, contrabalansate din plin prin creșteri în alte locuri.

Abia de puțină vreme cosmologii și-au dat seama că

preconizata moarte termică a universurilor aflate în veșnică expansiune, într-o stare viitoare de entropie maximă, nu va avea loc. Deși entropia universului va continua să crească, entropia maximă pe care o poate atinge la un moment dat crește și mai repede. Astfel diferența dintre entropia maximă posibilă și entropia reală a universului nostru crește continuu, așa cum se arată în figura 2.4. De fapt, universul se îndepărtează tot mai mult de starea „moartă” a echilibrului termic perfect.

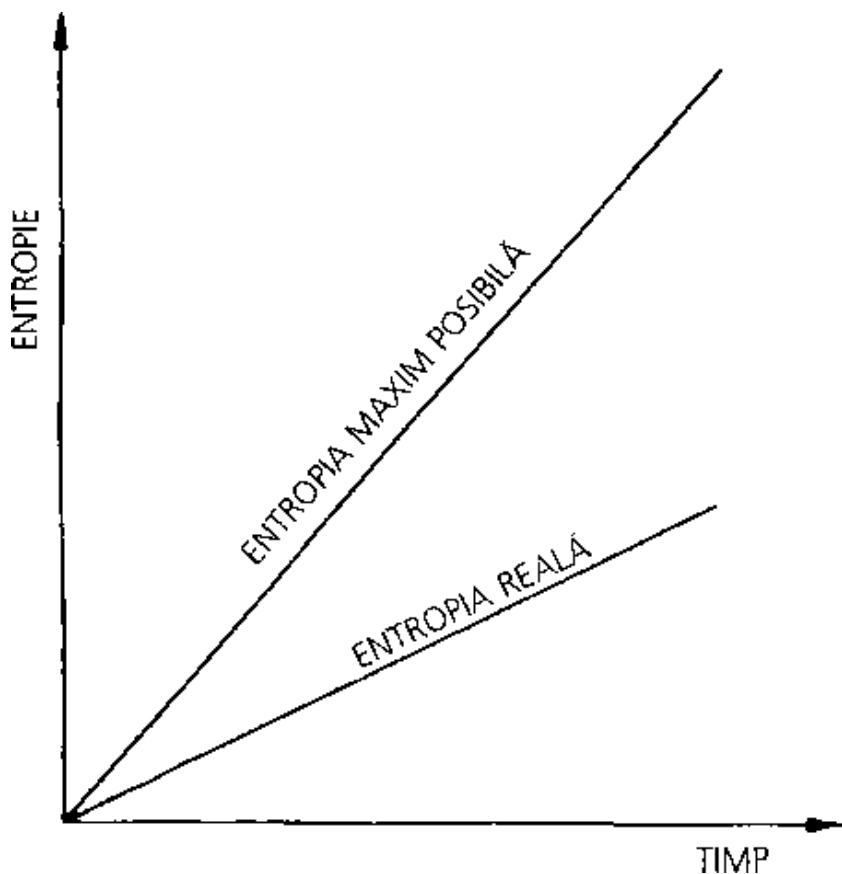


Figura 2.4. Perspectiva modernă asupra „morții termice” a universului. Entropia reală a unui univers care se dilată la nesfârșit crește continuu cu timpul, dar valoarea

maximă a entropiei posibile pentru un univers care conține aceeași cantitate de materie crește mai repede. Cu trecerea timpului, universul se îndepărtează tot mai mult de „moartea termică” a echilibrului perfect atins la valoarea maximă posibilă a entropiei.

Când calculăm entropia actuală a universului, constatăm că este uimitor de mică; altfel spus, putem concepe forme de distribuire a energiei din univers pe căi mult mai dezordonate. Universul se află încă într-o stare extrem de ordonată, deși se dilată sporindu-și entropia de cincisprezece miliarde de ani. E un mister. Ar însemna ca starea de început a universului să fi fost foarte ordonată, deci o stare cu totul aparte, guvernată probabil de un mare principiu de simetrie sau de economie. Aceste idei s-au dovedit însă imposibil de folosit pentru a descoperi principiul, deoarece nu cunoaștem suficient structura universului pentru a identifica toate căile de manifestare a ordinii și dezordinii din interiorul lui. Calculele noastre privind entropia actuală sunt deci incomplete. Spre exemplu, în 1975 fizicienii Jacob Bekenstein și Stephen Hawking au arătat că găurile negre posedă o entropie asociată cu aspecte lor cuantice profunde. Matematicianul englez Roger Penrose a emis ipoteza că o entropie analogă ar putea fi de asemenea asociată cu câmpul gravitațional al universului. Înțelegerea deplină a aspectelor termodinamice ale gravitației rămâne o problemă pentru cosmologii viitorului. Ne vom întoarce la ea spre sfârșitul povestirii noastre.

Dacă vă displace ideea unui univers în veșnică expansiune care se îndreaptă spre viitorul lipsit de viață al entropiei continuu crescătoare, puteți alege un altul dintre modelele de univers în expansiune ale lui Friedmann. Unele se dilată suficient de lent pentru ca forța gravitațională să atragă materia provocând o contractare până la dimensiunea zero în viitorul

îndepărtat. Starea lor finală va fi o teribilă moarte termică, cu temperaturi și densități care cresc nelimitat pe măsură ce contracția se intensifică. Acest model de evoluție cosmică trimite la vechea idee de univers ciclic – univers supus unui șir fără capăt de renașteri, revenind mereu la viață ca pasărea Phoenix din propria-i cenușă (vezi figura 2.5).

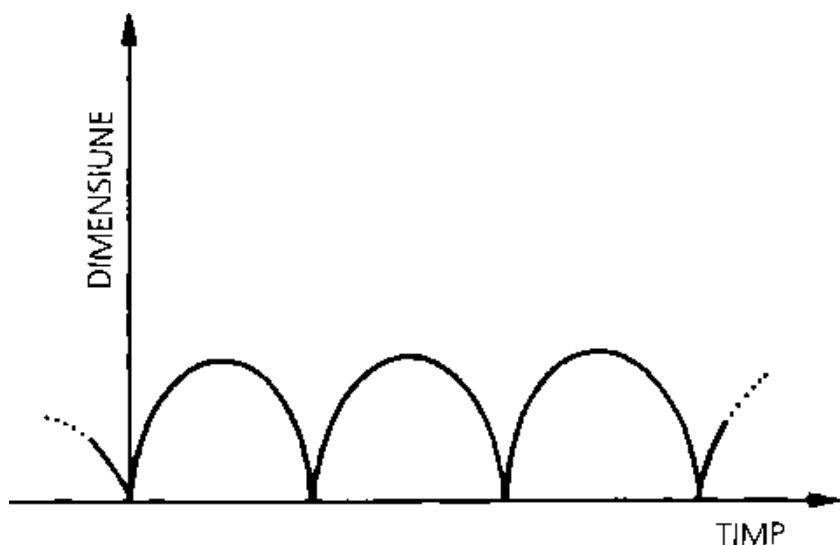


Figura 2.5. Un posibil univers aflat în veșnică oscilație, în care fiecare ciclu are aceeași dimensiune ca precedentul.

Potrivit acestei perspective, ne aflăm într-un ciclu de expansiune al unui univers oscilant cu o vechime infinită și cu un viitor infinit. Toate planetele, stelele și galaxiile sunt distruse de fiecare dată când universul se prăbușește în marea implozie (big crunch), pentru a reveni într-o stare de expansiune. Deși filosofic vorbind ideea e atrăgătoare – și elimină nevoia de a explica ce s-a întâmplat la începutul universului pentru a genera actuala stare de expansiune –, ea este supusă criticii din cauza celei de-a doua legi a termodinamicii. Acest

argument a fost introdus în anii '30 de fizicianul american Richard Tolman care a observat că dimensiunea maximă a universului ar trebui să crească la fiecare ciclu, iar astfel fiecare ciclu ar fi mai lung decât precedentul. Acest lucru s-ar întâmpla pentru că disiparea treptată a materiei în radiație ar mări presiunea care se opune gravitației, iar expansiunea ar dura astfel mai mult cu fiecare următor ciclu. Dacă urmărim deci un univers oscilant înapoi în timp, vedem că el devine din ce în ce mai mic.

S-a întâmplat din nou ca la acea vreme (și mult după aceea) să se tragă în mod greșit concluzia că universul trebuie să fi pornit cu o dimensiune zero, cu un timp finit în urmă. E cu puțință, dar suntem egal îndreptățiți să ne închipuim că universul a cunoscut un număr infinit de cicluri în trecut, fiecare mai mare decât precedentul, fără ca dimensiunea zero să fi fost vreodată atinsă (vezi figura 2.6).

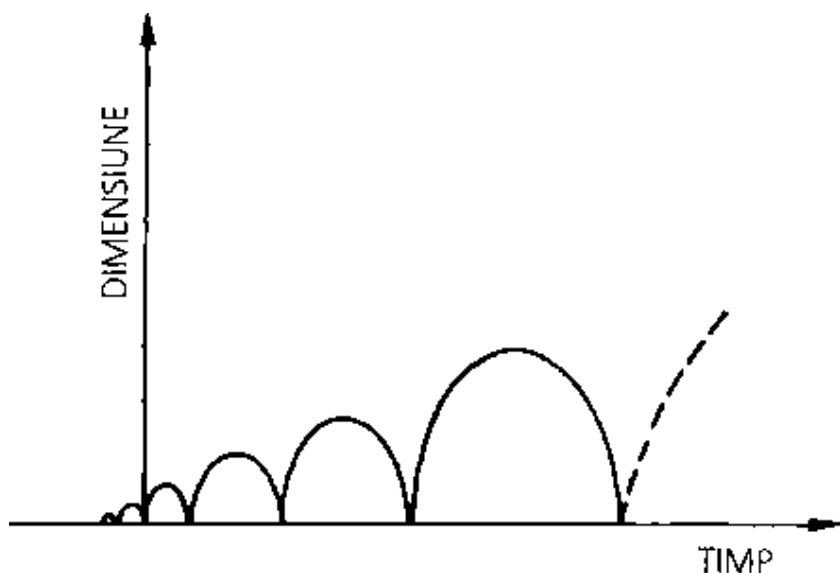


Figura 2.6. Continua creștere a entropiei cu timpul, în acord cu legea a doua a termodinamicii, face să crească presiunea radiației în univers, iar astfel ciclurile devin tot

mai mari pe măsura trecerii timpului.

Alți savanți au arătat că, dacă ar fi existat un număr infinit de oscilații în trecut, atunci creșterea entropiei ar fi dus deja universul la moarte termică. Dar, din moment ce nimeni nu putea ști cu certitudine ce se întâmplă la fiecare început, argumentul nu era prea convingător. Unii au lansat ipoteza conform căreia constantele fizicii, entropia, ba chiar toate legile naturii s-ar putea schimba de la ciclu la ciclu. Se dă prea puțină importanță azi acestei idei, deoarece nu cunoaștem tot ce contribuie la entropia universului. Dacă, pe căi necunoscute, câmpul gravitațional posedă entropie, creșterea continuă a entropiei universului ar putea să nu conducă la creșterea constantă a dimensiunii sale de la ciclu la ciclu.

Discutați cu orice persoană care, deși nu e astronom, manifestă o oarecare curiozitate față de acest subiect și veți constata că menționarea teoriei big bang îl face să-și aducă imediat aminte de ceea ce se cheamă „teoria stării staționare a universului”. De fapt, teoria stării staționare a încetat să-i intereseze pe cosmologi cu aproape treizeci de ani în urmă, dar ea supraviețuiește fără îndoială în mințile oamenilor ca un concurent al teoriei big bang. A fost elaborată de Thomas Gold, Hermann Bondi și Fred Hoyle, care au conceput-o la Cambridge în 1948, după ce au văzut filmul *Sfârșitul nopții*, un film care se termina prin întoarcerea la situația cu care a început. Și dacă universul ar fi așa? s-au întrebat ei. Știau că universul se află în expansiune, dar nu le plăcea ideea că trebuie să fi avut un început, idee către care părea să conducă expansiunea. Ei voiau ca universul să înfățișeze același aspect general observatorilor în toate timpurile, de la trecutul infinit până la viitorul infinit. Au conceput un model în care universul era, în medie, întotdeauna la fel și nu avea niciun început (vezi figura 2.7).

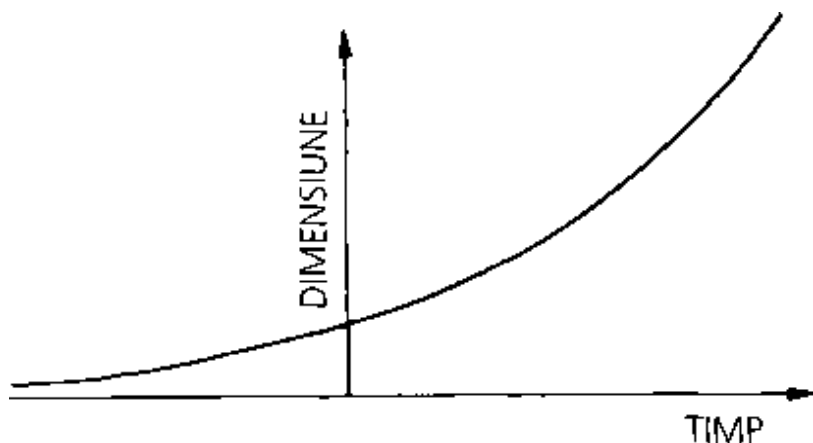


Figura 2.7. Expansiunea unui univers în stare staționară. Nu are nici început, nici sfârșit.

Ei au presupus că materia, în loc să fi fost creată la un anumit moment în trecut, e creată *mereu*, exact în ritmul necesar pentru a compensa diluarea ei provocată de expansiune, menținându-se astfel o densitate constantă a materiei în univers. Această stare de lucruri există dintr-un trecut etern și va continua la nesfârșit. Dimpotrivă, scenariul big bang al universului în expansiune presupune o densitate în scădere, un început, și niciun fel de creație continuă. În treacăt fie zis, ritmul de creație cerut de scenariul stării staționare e uluitor de mic (aproximativ un atom pe metru cub la fiecare zece miliarde de ani), iar un asemenea proces lent e imposibil de observat direct. Motivul pentru care e atât de mic ține de faptul că există foarte puțină materie în univers. Dacă toate stelele și galaxiile din universul actual ar fi diluate într-un ocean uniform de atomi, ar exista abia un atom în fiecare metru cub de spațiu. E un vid incomparabil mai bun decât orice vid s-ar putea vreodată atinge în laboratoarele de pe pământ. Spațiul extraterestru e, în cea mai mare parte, chiar asta – spațiu.

Unul dintre meritele acestei propuneri de univers

staționar este caracterul său bine definit. Se obțin astfel previziuni foarte exacte despre felul în care ar arăta universul, și de aceea modelul poate fi invalidat prin observații. Ceea ce s-a și întâmplat. Dacă universul ar arăta la fel la toate vârstele cosmice, nu ar trebui să existe anumite perioade în istoria cosmosului când s-au petrecut lucruri remarcabile – când, de pildă, au început să se formeze galaxiile sau când predominau quasarii. Noua știință a radioastronomiei a apărut în timpul războiului din cercetările legate de radar. Ea dă astronomilor posibilitatea de a studia obiecte care emit energie sub formă de unde radio, nu de lumină vizibilă. Astronomii folosesc radiotelescoape pentru a observa galaxii foarte vechi, care sunt surse puternice de unde radio, ca să vadă dacă galaxiile de acest tip au apărut în univers într-o anumită epocă, așa cum prevede teoria big bang, sau dacă au fost dintotdeauna la fel de abundente, cum prevede teoria stării staționare. La sfârșitul anilor '50 s-au acumulat observații care indicau că universul a fost în trecut foarte deosebit de ceea ce este el astăzi. Galaxiile care sunt surse puternice de unde radio nu au fost la fel de abundente în toate epocile din istoria cosmosului.

Când observăm lumina de la obiectele astronomice îndepărtate, le vedem sosind din trecut, din vremea când lumina a pornit de la ele, iar astfel observațiile noastre asupra obiectelor similare aflate la diferite distanțe ne permit să aflăm cum arăta universul în diferite perioade. Rămânea desigur în discuție ce anume ne spuneau aceste observații, și s-a iscat o dispută aprinsă deoarece radioastronomii încercau să-i convingă pe adepții teoriei stării staționare că radiogalaxiile erau mult mai numeroase în trecutul îndepărtat decât sunt astăzi. Aceea a fost epoca în care atenția publicului a fost captată de disputa dintre modelul big bang și modelul stării staționare. Pregătirea fusese deja făcută de o serie de emisiuni BBC intitulate „Natura

Universului” realizate de Fred Hoyle în 1950, în care considera big bang-ul o descriere peiorativă a cosmologiei, pentru care universul se năştea dintr-o stare densă cu un timp finit în urmă.

Această complicată dispută a fost tranşată definitiv în 1965, când Penzias şi Wilson au descoperit radiaţia de fond de microunde. O asemenea radiaţie termică nu putea fi prezentă într-un univers staţionar pentru că el nu cunoscuse în trecut o perioadă fierbinte cu o densitate colosală; un astfel de univers trebuie să fi fost dintotdeauna rece şi tăcut. În plus, observaţiile ulterioare asupra abundenţei elementelor uşoare din univers se potriveau cu modelul big bang şi confirmau ideea că au fost produse prin reacţii nucleare în timpul primelor trei minute de expansiune. Modelul stării staţionare nu oferă nicio explicaţie naturală pentru aceste abundenţe, fiindcă nu ia în considerare o perioadă de început cu densitate şi temperatură foarte mari, când au putut avea loc reacţii nucleare pretutindeni în univers.

Aceste două rezultate au dat lovitura de graţie modelului stării staţionare, iar el nu a mai jucat rolul de model viabil, în ciuda încercărilor adepţilor săi de a-l modifica în fel şi chip. Modelul big bang s-a impus pentru că a reuşit să explice observaţiile noastre asupra universului. Trebuie înţeles însă că termenul de „model big bang” nu e decât o imagine a universului în expansiune, în care trecutul a fost mai fierbinte şi mai dens decât prezentul. Există mai multe cosmologii diferite care se integrează în această categorie generică. Misiunea cosmologilor este de a stabili o istorie a expansiunii universului – de a afla cum s-au format galaxiile; de ce se îngrămădesc în roiuri; de ce expansiunea are viteza pe care o are – şi de a explica forma universului şi echilibrul dintre materie şi radiaţie.

3.

Singularitatea și alte probleme

„Singularitatea e întotdeauna un indiciu. Cu cât o crimă e mai neutră și mai banală, cu atât misterul e mai greu de dezlegat.”

Misterul din Valea Boscombe

Imaginea unui univers în expansiune implică un cataclism ce trebuie să fi avut loc în trecut. Dacă inversăm sensul expansiunii și o urmărim înapoi în timp, dăm peste un „început” în care toate se izbesc între ele: întreaga masă a universului e comprimată într-o stare de densitate infinită. Această stare e cunoscută sub numele de „singularitate inițială”. Spectrul prezenței sale în trecutul nostru a dus la tot felul de extrapolări metafizice și teologice ale ideilor din cosmologia modernă.

Judecând după viteza cu care observăm că universul se dilată astăzi și ritmul cu care expansiunea e frânată, singularitatea inițială se găsește la numai aproximativ cincisprezece miliarde de ani în urmă. Spun „numai” pentru că această scară a timpului, deși uimitor de lungă după criteriile umane, nu este mult mai mare decât scările de timp legate de planeta noastră: dinozaurii se plimbau prin Argentina în urmă cu două sute treizeci de milioane de ani; cele mai vechi bacterii fosile pe Pământ au circa trei miliarde de ani; cele mai

vechi roci din solul Groenlandei au 3,9 milioane de ani, iar cele mai vechi relicve de la începuturile sistemului nostru solar au aproape 4,6 miliarde de ani. Perioada de timp ce ne separă de originea Pământului este de numai o treime din cea care ne separă de misterele singularității.

La începutul anilor '30 mulți cosmologi nu voiau să creadă că expansiunea implica un început singular de densitate infinită. Au fost ridicate două obiecții. Dacă încercăm să apăsăm un balon umflat pentru a-l aduce la dimensiuni din ce în ce mai mici, constatăm că eforturile noastre sunt împiedicate și în cele din urmă sunt învinse de presiunea exercitată de moleculele de aer din balon. Deoarece volumul în care ele se mișcă liber scade, vor împinge mai puternic în pereți. La fel și cu universul: ne-am aștepta ca presiunea exercitată de materia și radiația din univers să-l împiedice să ajungă la volum zero. Ar ricoșa ca niște bile de biliard ce se ciocnesc. Alții pretindeau că ideea de punct inițial singular cu densitate infinită apare numai datorită faptului că am adoptat o imagine în care universul se dilată cu aceeași viteză în toate direcțiile. Astfel, când urmărim expansiunea în sens invers, toate ajung simultan într-un singur punct. Dacă însă expansiunea a fost ușor asimetrică (și așa a fost în realitate), când derulăm înapoi filmul evenimentelor materia în implozie se defazează, astfel încât ar putea să împiedice producerea unei singularități.

La o cercetare mai atentă, aceste obiecții nu pot înlătura singularitatea prezisă. De fapt, creșterea presiunii a contribuit la crearea ei, așa cum arată faimoasa ecuație a lui Einstein conform căreia energia și masa sunt echivalente ($E = mc^2$). Presiunea este doar o altă formă de energie, prin urmare e echivalentă cu masa; când crește foarte mult, ea creează o forță gravitațională care se opune efectului de respingere pe care-l asociem de obicei cu presiunea. Încercarea de a

înlătura singularitatea prin creșterea presiunii rezistive își sapă singură groapa; în realitate, ea susține și mai mult singularitatea! În plus, când teoria gravitației a lui Einstein a fost folosită pentru a găsi alte tipuri de universuri posibile – universuri ce se dilată cu viteze diferite în direcții diferite, sau care prezintă variații de la un loc la altul – singularitatea s-a menținut. Ea nu e o consecință a modelelor de universuri simetrice. Este prezentă pretutindeni.

Ultima obiecție ridicată împotriva ideii de singularitate inițială era mai subtilă și nu a fost înțeleasă pe deplin decât în 1965. Ea poate fi ilustrată printr-o situație care ne este familiară. Pe un glob geografic terestru se vede o rețea de linii de latitudine și longitudine, folosite pentru a indica poziția oricărui punct de pe suprafața Pământului. Pe măsură ce ne îndreptăm spre poli, liniile de longitudine încep să converge, iar meridianele se intersectează în cele din urmă la poli (vezi figura 3.1). Observăm astfel că la poli coordonatele geografice prezintă o „singularitate”, deși pe suprafața Pământului nu se petrece nimic deosebit.^[4] Am creat o singularitate artificială printr-o alegere particulară a coordonatelor hărții. Putem alege oricând un sistem diferit de coordonate fără să se întâmple nimic rău la poli. Cum putem ști că aparenta singularitate de la începutul unui univers în expansiune nu e doar un artefact, consecința unui mod defectuos de a ne reprezenta ce s-a întâmplat în trecutul îndepărtat?

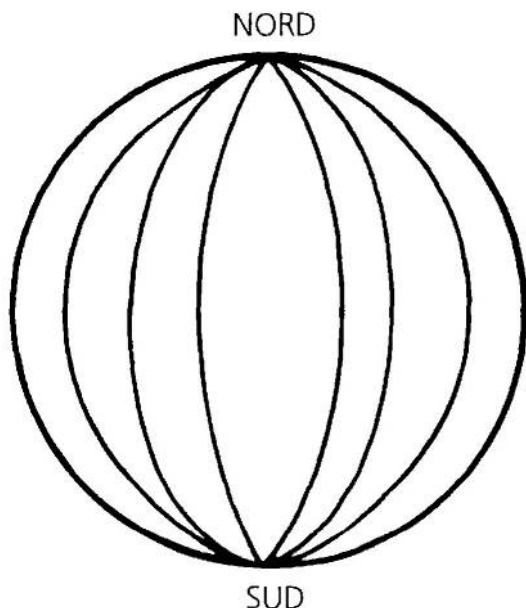


Figura 3.1. Meridianele de pe suprafața Pământului se intersectează la poli.

Pentru a răspunde acestor obiecții, cosmologii trebuie să fie atenți cum definesc singularitatea. Dacă privim întreaga istorie a universului – tot spațiul și timpul – ca pe o foaie imensă care se întinde în fața noastră, am putea găsi în anumite locuri singularități unde densitatea și temperatura sunt infinite. Să presupunem acum că decupăm acele puncte patologice și le eliminăm pentru a obține o foaie găurită care nu conține nicio singularitate. Acesta ar putea fi un alt univers posibil. Să nu ne înșelăm însă cu acest joc. În mod sigur un astfel de univers e „aproape” singular într-un anumit sens. Și, dacă am găsi vreodată un univers nesingular, cum am putea ști că procesul de găsim nu a „decupat” singularitatea în acest mod artificial?

Pentru a răspunde la această dilemă trebuie să renunțăm la ideea clasică de singularitate ca loc cu temperatură și densitate infinite. Vom spune în schimb

că o singularitate apare atunci când drumul prin spațiu și timp al oricărei raze de lumină se oprește și nu mai poate continua. Ce poate fi mai „singular” decât această experiență gen Alice în Țara Minunilor? La capătul drumului său, raza de lumină a atins limita spațiului și timpului. Ea „dispare” din univers. Acest mod de a defini singularitatea este elegant fiindcă, dacă într-adevăr densitatea devine infinită undeva, atunci drumul razei de lumină se va opri în acel punct pentru că spațiul și timpul dispar. Dacă scoatem din univers acel punct, raza de lumină va fi în continuare oprită când atinge perimetrul găurii.

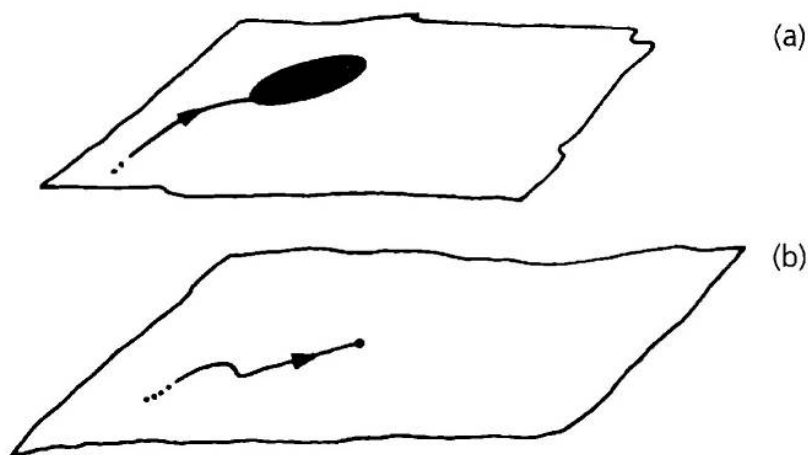


Figura 3.2. Două foi reprezentând universuri cu spațiu și timp în care drumul razelor de lumină se sfârșește. În cazul (a) s-a decupat o gaură din univers iar raza de lumină ajunge la marginea ei. În cazul (b), raza de lumină ajunge la singularitate, acolo unde spațiul și timpul dispar.

Această imagine a unei singularități ca limită a universului este extrem de folositoare. Ea evită toate problemele ridicate de forma și presiunea universului, precum și ambiguitățile legate de reprezentarea

cartografică prin coordonate. Deși o asemenea singularitate ar putea fi însoțită de valori extreme ale densității și temperaturii, ca în reprezentarea noastră intuitivă pentru un univers de tip big bang, nu e neapărat necesar să se întâmple așa.

Există și alte schimbări în reprezentările noastre curente despre începutul universului. Nu e nevoie ca acesta să fi apărut pretutindeni în același moment. Diferite drumuri de-a lungul timpului puteau să fi început la momente diferite, dacă ne întoarcem la originile lor singulare. Faptul că unele regiuni din universul de astăzi sunt mai puțin dense decât altele reflectă probabil apariția lor ceva mai timpurie din singularitate – au avut mai mult timp la dispoziție pentru a se extinde și rarefia decât regiunile mai dense.

La mijlocul anilor '60, în urma descoperirii radiației cosmice de fond de către Penzias și Wilson, modelul big bang a început să fie luat în serios, iar cosmologii s-au concentrat asupra întrebării dacă universul a avut un început singular. După ce ne-am lămurit cu ce ar trebui identificat acest început – drumuri care nu mai pot fi extinse în urmă, în spațiu și timp – s-a pus problema dacă universul nostru conținea o singularitate de acest tip, un început al timpului, în trecut. Roger Penrose a arătat cum se poate răspunde la astfel de întrebări folosind noi argumente geometrice, care nu mai fuseseră folosite până atunci de astronomi. Pregătirea lui Penrose în matematici pure și remarcabila sa intuiție geometrică i-au pus la dispoziție noi metode pentru a afla cum se deplasează razele de lumină și dacă ele vin sau nu dintr-un trecut etern. Mai târziu i s-au alăturat Hawking și alți oameni de știință, printre care fizicienii Robert Geroch și George Ellis.

Penrose a arătat că, dacă forțele gravitaționale exercitate de materia din univers au fost întotdeauna și pretutindeni atractive și dacă există suficientă materie în univers, atunci efectul gravitațional al acestei materii

face imposibilă urmărirea oricât de departe înapoi în timp a drumului tuturor razelor de lumină.

Unele dintre ele (eventual toate) ajung într-un punct unde se opresc – o singularitate pe care o identificăm cu imaginea noastră intuitivă despre big bang (vezi figura 3.3). Frumusețea acestor riguroase deducții matematice este că evită toate incertitudinile legate de sistemul de coordonate și simetriile particulare. Ele nu ne cer să cunoaștem prea multe detalii despre structura universului și nici măcar legea gravitației. Trebuie subliniat faptul că ele sunt *teoreme*, nu teorii. Ele au pus în evidență anumite ipoteze despre natura universului care, dacă sunt corecte, ne dau garanția existenței unei singularități în trecut numai pe baza logicii. Dacă aceste ipoteze se dovedesc a nu fi valabile în universul nostru, nu putem trage concluzia că n-a existat nicio singularitate – nu putem trage nicio concluzie în privința începutului. Teoremele pur și simplu nu se mai aplică universului nostru.

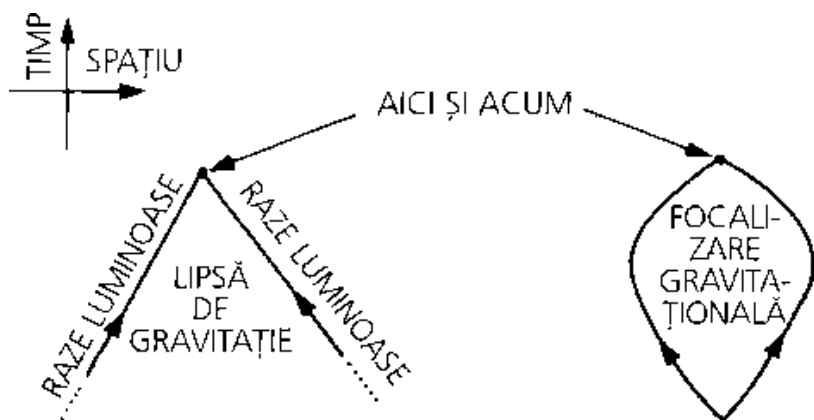


Figura 3.3. (a) Drumurile prin spațiu și timp străbătute de razele de lumină care se deplasează cu viteza luminii (constantă) în absența gravitației, (b) Gravitația deviază traiectoria razelor de lumină de la drumul lor drept. Dacă există suficientă materie în univers, razele de lumină converg în trecut spre o singularitate.

Cele două ipoteze – că gravitația e întotdeauna și pretutindeni atractivă și că există suficientă materie în univers – sunt fascinante pentru că, deși exprimate într-un limbaj matematic, ele se pot verifica prin observații. În mod remarcabil, condiția legată de materie s-a dovedit a fi îndeplinită chiar prin recent descoperita radiație cosmică de fond. Rămâne doar cerința ca gravitația să fie întotdeauna și pretutindeni atractivă. În anii '60 această ipoteză era considerată rezonabilă. Nu era contrazisă de nicio observație și nicio teorie bine fundamentată despre comportamentul materiei la densități mari nu prezicea că anumite forme ale materiei ar putea fi antigravitaționale. În situații normale, atracția gravitațională e o consecință a faptului că materia are masă pozitivă și, în consecință, densitate pozitivă. Când avem de-a face însă cu materie comprimată până la densități foarte mari sau care se deplasează cu viteze apropiate de viteza luminii, e, trebuie să apelăm la formula lui Einstein $E = mc^2$. Orice formă de energie, E , are o masă echivalentă, în, și resimte forța gravitațională a altei materii. Așa cum s-a spus, presiunea este o formă de energie (ea apare din energia de mișcare a moleculelor într-un gaz, de pildă) și deci e de asemenea supusă forței gravitaționale. Din moment ce există trei dimensiuni în spațiu în care particulele ce creează presiunea se pot deplasa, condiția ca forța gravitațională să fie atractivă este aceea ca o cantitate notată cu D , egală cu densitatea (d) plus de trei ori presiunea (P) împărțită la c^2 , să fie pozitivă:

$$D = d + 3 P/c^2 > 0$$

Condiția e îndeplinită de toate formele cunoscute ale materiei din univers – radiație, atomi, molecule, stele, roci etc. Din această cauză, ideea că universul a avut un început în timp a devenit una dintre cele mai răspândite la sfârșitul anilor '60 și aproape pe toată perioada anilor

’70.

Multe din cercetările cosmologilor-matematicieni s-a concentrat asupra înțelegerii a ceea ce s-a petrecut în imediata vecinătate a acelei singularități și asupra descoperirii felului în care aceste foarte complicate singularități au afectat materia din vecinătatea lor.

Un aspect interesant al acestei deducții privind un început în timp este că elimină vechea idee de univers ciclic care se contractă periodic până la marea implozie (big crunch), pentru ca apoi să reapară într-o nouă fază de expansiune. Urmărind firul istoriei înapoi în timp spre o singularitate, vedem că nu mai există niciun „mai înainte”. Nu există nicio cale de a cerceta istoria universului până la starea de contractare anterioară: această idee trebuie să rămână în domeniul *science-fiction*.

Dacă universul a început ca o singularitate din care a apărut materia cu temperatură și densitate infinită, suntem confrunțați cu o serie de probleme atunci când vrem să împingem mai departe studiul cosmosului. Ce anume determină tipul universului care apare? Dacă spațiul și timpul nu existau înaintea aceluia început singular, cum mai putem explica legile gravitației, logicii, matematicii? Existau „înaintea” acelei singularități? Dacă da – și se pare că trebuie să admitem aceasta atâta timp cât aplicăm matematica și logica singularității înseși – atunci trebuie să acceptăm existența unei raționalități care depășește universul material. Mai mult, pentru a înțelege starea actuală a universului, se pare că trebuie să facem imposibilul – adică să înțelegem singularitatea. Singularitatea a fost însă un eveniment unic: cum poate fi supusă metodelor științifice?

Mai întâi, cosmologii au pornit să examineze două strategii posibile, pe care le-am descris mai sus: stabilirea principiilor care ar putea dicta cum arată o singularitate sau încercarea de a arăta că ele nu au

nicio importanță, că oricum universul ar arăta foarte asemănător cu ce este el astăzi, indiferent cum a început.

Am scos în evidență unele dintre descoperirile cosmologilor privind universul și unele dintre întrebările la care ei ar trebui să răspundă. Dacă vrem să lămurim ceva despre starea actuală a universului, spre exemplu de ce galaxiile au formele și dimensiunile pe care le au, trebuie să ne întoarcem în timp, reconstituind vechea istorie a universului prin folosirea cunoștințelor noastre despre felul cum se comportă materia în condiții extreme de temperatură și densitate. Am vrea să ne verificăm deducțiile cu ajutorul mărturiilor rămase în univers privind evenimentele petrecute; din nefericire, lucrurile nu sunt așa simple. Universul ascunde aceste mărturii, astfel încât se găsesc foarte puține relicve ale trecutului îndepărtat. Mai mult, nu cunoaștem toate modurile în care se comportă materia la temperaturi și densități extrem de mari. Experiențele de pe Pământ, limitate din motive economice și din cauza dimensiunilor și puterii necesare, nu pot simula perfect condițiile din universul aflat în prima sutime de secundă a istoriei expansiunii sale.

Se ajunge astfel la o situație stranie. Cosmologul îi cere fizicianului specialist în particule elementare să explice cum se comportă materia și radiația la temperaturi foarte mari, astfel ca istoria trecută a universului să poată fi reconstituită din ce în ce mai aproape de începutul său. Fizicianul, pe de altă parte, nu poate face asta cu resursele pe care le are pe Pământ. Acceleratoarele de particule nu pot reproduce energiile big bang-ului, iar detectorii nu pot capta particulele elementare extrem de ușoare. Astfel, fizicienii specialiști în particule elementare văd în studiul momentelor timpurii ale universului un mijloc de a-și testa propriile teorii. Dacă cea mai recentă teorie a lor prevede că stelele și galaxiile nu pot exista, ea poate fi

exclusă. În felul acesta se ajunge la o situație delicată deoarece se folosesc elemente de fizică testate parțial (sau chiar netestate) pentru a elabora istorii posibile ale primei secunde din istoria universului.

Cititorul ar trebui să se gândească la prima secundă după big bang ca la o cumpănă cosmică. Se crede că după acest interval de timp temperatura din univers a devenit suficient de scăzută ca să se aplice legile fizice terestre ce pot fi testate experimental. Dar neputința noastră de a recrea complet procesele fizice și particulele elementare care dictează evoluția universului din prima secundă face ca reconstruirea istoriei să fie nesigură. O secundă este de asemenea perioada în care condițiile din universul timpuriu au determinat abundența elementului heliu. Abundența acestui element ne dă o indicație directă asupra modului în care universul s-a dilatat la acel moment.

Aceasta nu înseamnă că înțelegem toate evenimentele care s-au petrecut după ce universul a devenit cu o secundă mai bătrân. Înțelegem principiile fizice generale și legile ce guvernează comportamentul conținutului universului de la acel moment încolo, dar există o serie de evenimente – în special cele legate de formarea galaxiilor – care sunt de o enormă complexitate și pe care încă nu am reușit să le reconstituim în detaliu. Lucrurile stau cam la fel ca în cazul meteorologiei. Cunoaștem toate principiile fizice care dictează starea vremii și putem explica orice schimbări climatice din trecut. Nu putem însă *prevedea*, strict vorbind, vremea, nici măcar vremea de mâine, din cauza interacțiunii complicate și instabile a nenumăraților factori ce se combină determinând starea curentă a vremii. Pentru că nu cunoaștem perfect acea stare, capacitatea noastră de a prevedea vremea e limitată.

La sfârșitul anilor '70 studiul particulelor elementare s-a alăturat științelor astronomiei și cosmologiei. Adeseori trebuie să rezulte consecințe astronomice dacă

apare vreun tip nou de particule subatomice, chiar dacă efectele lor sunt prea slabe pentru a fi puse în evidență prin experimente în acceleratoarele de particule. Astfel, observațiile astronomice pot fi folosite pentru a dovedi că anumite tipuri de particule elementare propuse nu există.

Un bun exemplu de relație simbiotică între cosmologie și studiul fizicii particulelor elementare e dat de interacțiunea dintre rezultatele experimentelor de înaltă precizie ale Centrului European de Cercetări Nucleare (CERN), din Geneva și teoriile cosmologice ale reacțiilor nucleare în timpul primelor minute din istoria universului. Ambele abordări ne spun câte tipuri există din particula elementară numită neutrîn. Neutrînii sunt particule fantomatice ce interacționează atât de slab cu toate celelalte forme ale materiei încât sunt foarte greu detectabile și, într-adevăr, ele trec în număr mare prin corpul nostru chiar în această clipă. Fizicienii cunoșteau de multă vreme existența a două tipuri de neutrîni – electronic și miuonic – ambele fiind detectate direct prin nenumărate experimente din acceleratoarele de particule. Al treilea tip, neutrînul tau, își dezvăluie existența numai indirect, prin dezintegrarea altor particule; producerea sa necesită prea multă energie ca să fi fost detectată în mod direct până acum. Putem fi siguri că neutrînii tau există? Mai există oare și alte tipuri de neutrîni, pe care încă nu le cunoaștem?

Înainte de toate să vedem modul în care reconstituirea istoriei universului ne dă posibilitatea să folosim observațiile astronomice pentru a determina numărul tipurilor de neutrîni. Putem apoi compara rezultatul cu recentul experiment CERN care măsoară acest număr direct.

Cosmologii au presupus încă din anii '70 că există trei și numai trei tipuri de neutrîni și au folosit aceste date ca parte a descrierii modelului preferat pentru alcătuirea universului timpuriu. Este foarte important ca ei să știe

câte tipuri de neutrini există în natură, pentru că acest lucru stabilește densitatea totală a radiației și materiei în universul timpuriu, iar, la rândul ei, aceasta stabilește cât de repede se dilată universul. Ei folosesc aceste informații pentru a cerceta în amănunt evenimentele petrecute în univers între prima secundă și a mia secundă de viață. În acest interval de timp al istoriei cosmice universul în expansiune a fost suficient de fierbinte pentru ca reacțiile nucleare să formeze elementele foarte ușoare prin unirea electronilor și protonilor în diverse combinații. În timpurile mai vechi, temperatura era atât de ridicată încât orice element mai greu decât hidrogenul, care are un singur proton, s-ar fi descompus îndată ce s-ar fi format (nucleele de hidrogen ar fi dispărut și ele pe când universul avea mai puțin de o microsecundă). În primele trei secunde, formarea de elemente ușoare este lentă, însă atinge punctul culminant într-o izbucnire violentă de reacții nucleare după o sută de secunde, pentru ca apoi să se oprească imediat din cauza scăderii temperaturii și densității. După o mie de secunde totul se încheie.

Pentru a prevedea rezultatul acestor reacții nucleare este necesar să cunoști numărul relativ de protoni și neutroni disponibili. Acest număr va determina abundența finală de nuclee ce s-au format din ei: deuteriul, un izotop al hidrogenului, cu un proton și un neutron; heliul, care conține doi izotopi, unul cu doi protoni și un neutron (heliu-3) iar celălalt cu doi protoni și doi neutroni (heliu-4); și litiul, care conține trei protoni și patru neutroni.

Când universul are mai puțin de o secundă, trebuie să existe un număr egal de protoni și neutroni din cauza așa-zisei interacțiuni slabe între ei, care-i transformă pe unul în altul și menține în echilibru numărul lor. Când însă universul are o secundă de viață, ritmul de expansiune devine prea mare pentru ca aceste interacții slabe să poată menține un echilibru perfect neutroni-

protoni.

Devine ceva mai dificil să se transforme un proton în neutron decât invers, deoarece neutronul este puțin mai greu decât protonul, producția lui necesitând astfel mai multă energie. Interacțiunile slabe nu mai produc transformări, lăsând în urmă o abundență bine determinată de protoni în raport cu neutronii: proporția este de șapte la unu. După aproximativ o sută de secunde se declanșează reacții nucleare care combină acești neutroni și protoni formându-se nuclee de deuteriu, heliu și litiu. Circa 23% din toată materia ajunge în cele din urmă heliu-4. Aproape tot restul rămâne sub formă de hidrogen, doar câteva părți la suta de mii rămânând sub formă de izotopi de heliu-3 și deuteriu, iar abia câteva părți la zece miliarde ca litiu (vezi figura 3.4).

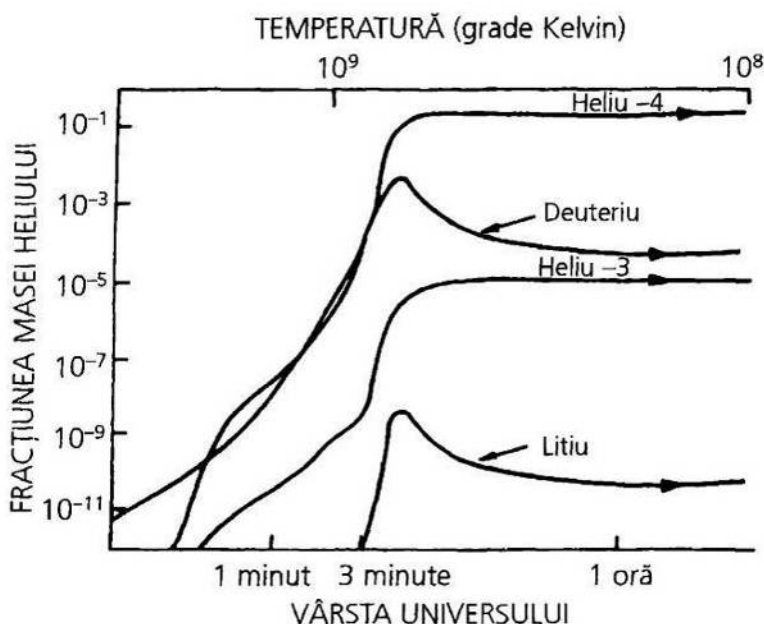


Figura 3.4. Detalierea producției de elemente ușoare din protoni și neutroni în decursul primelor trei minute din istoria universului. Reacțiile nucleare au loc în ritm

susținut când temperatura scade sub un miliard de grade Kelvin. Reacțiile încetează apoi din cauza scăderii rapide a temperaturii și densității materiei din universul în expansiune.

Observațiile astronomice asupra heliului, deuteriului și litiului din univers confirmă existența unor abundențe universale având aceste ordine de mărime. Iată un minunat acord între modelul cel mai simplu al big bang-ului și observațiile astronomice. Devine clar că acest acord reprezintă piatra de temelie a ipotezei că există numai trei tipuri de neutrini în natură. Dacă ar fi patru, ritmul de expansiune al universului timpuriu ar fi mai mare, și ar rămâne mai mulți neutroni în raport cu protonii când interacțiunile slabe își încetează efectul; ar exista astfel o creștere corespunzătoare a abundenței finale a heliului ce apare în universul timpuriu. S-au efectuat studii foarte detaliate care iau în considerație toate observațiile și marjele lor de eroare. Cosmologii au afirmat că nu poate exista alt tip de neutrini similar celor trei tipuri cunoscute (vezi figura 3.5).

Experimentele CERN au confirmat această predicție. Ele au produs un număr foarte mare de particule cu timp de viață scurt, numite bosoni Z. Fiecare dintre ele are o masă de 92 ori mai mare decât cea a protonului și se dezintegrează rapid în particule ușoare, între care și neutrini. Cu cât există mai multe tipuri de neutrini, cu atât bosonii Z au mai multe căi de dezintegrare și dispar mai repede. Experimentele CERN au urmărit dezintegrarea unui mare număr de bosoni Z pentru a determina în câte tipuri de neutrini se dezintegrează. Rezultatul a fost $2,98 \pm 0,05$, ținând cont de marja de eroare a experimentului. Se dovedește că există numai trei tipuri de neutrini.

Iată un frumos exemplu privind felul în care fizica particulelor și cosmologia se completează una pe alta și îmbogățesc cunoașterea noastră despre univers ca

întreg. Prezicerea corectă a abundențelor elementelor ușoare reprezintă cel mai mare succes al scenariului big bang. Predicțiile sunt sensibile la mici schimbări în structura universului când acesta avea o secundă de viață. Acest lucru ne dă posibilitatea să tragem concluzii despre felul în care arăta universul la acel moment. Dacă, de exemplu, s-ar fi dilatat cu rate diferite în direcții diferite, sau dacă ar fi conținut câmpuri magnetice puternice de-a lungul spațiului, atunci ritmul de expansiune ar fi fost mai mare, iar abundența heliului ar fi depășit-o cu mult pe cea înregistrată. Observațiile astronomice asupra elementelor ușoare din spațiu ne poartă mai adânc în trecut decât observațiile asupra radiației cosmice de fond; ele sunt indiciul cel mai prețios privind starea universului la o secundă după începerea expansiunii.

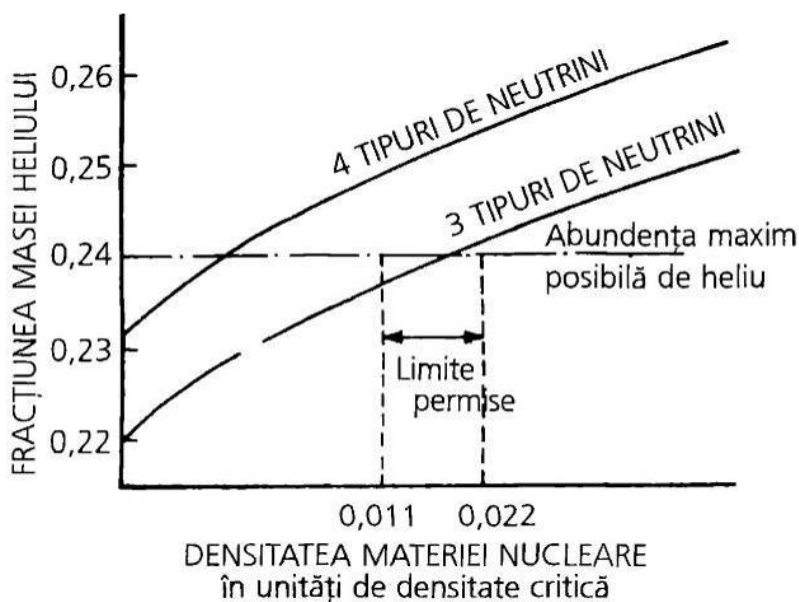


Figura 3.5. Abundența heliului-4 produs în universul timpuriu pentru diferite valori ale densității universale de materie nucleară în unități de densitate critică necesară pentru a „închide” universul. Cantitatea de heliu produsă

e reprezentată pentru cazurile în care există trei sau patru tipuri de neutrini. Valoarea observată a fracțiunii din masa universului care se află sub formă de heliu-4 este cuprinsă între 0,22 și 0,24. Când densitatea materiei se găsește între 0,011 și 0,022 din densitatea critică, abundența de heliu-3, deuteriu și litiu-7 concordă de asemenea cu observațiile. Acest domeniu de densități este în acord și cu densitatea observată a materiei care se găsește în stelele și galaxiile din prezent. Existența a patru tipuri de neutrini prezice o cantitate de heliu cu mult mai mare decât valoarea maximă admisă (0,24). Se obține un acord între observații și predicții numai dacă există trei tipuri de neutrini, caz în care fracțiunea de heliu prezisă e cuprinsă între 0,235 și 0,240.

Mai există o trăsătură importantă a acestor studii asupra reacțiilor nucleare primordiale care pune în evidență o trăsătură generală a modelului big bang. Calculul abundenței elementelor formate în universul timpuriu nu ne cere informații despre felul în care arăta universul la început. Abundențele relative ale protonilor și neutronilor sunt determinate de temperatura universului la momentul când interacțiunile slabe dintre ei au încetat să se manifeste. Aceasta este o trăsătură remarcabilă a modelului big bang; starea de echilibru termic face ca temperatura să determine cu precizie abundențele relative ale diferitelor particule de materie și radiație. Faptul nu a fost cu adevărat apreciat decât în 1951. Înainte, mulți cosmologi se gândeau că abundențele elementelor în perioadele foarte timpurii ale universului trebuie să depindă de numărul relativ de protoni și neutroni existent la început. Afirmatia însă e falsă. Înainte ca universul să împlinească vârsta de o secundă, numărul de protoni și neutroni era egal. Unele lucruri sunt așa cum sunt indiferent de cum erau.

4.

Inflația și particulele elementare

„E de multă vreme o axiomă pentru mine faptul că lucrurile mărunte sunt infinit mai importante.”

Un caz de identitate

Pe la mijlocul anilor '70 cosmologia a urmat o nouă direcție. În 1973 fizicienii specialiști în particule elementare au elaborat o teorie despre felul în care se comportă materia în condiții extreme. Anterior credeau că interacțiunile ei devin mai puternice și mai complicate pe măsură ce energiile și temperaturile cresc. În consecință, interesul lor privind cercetarea mediului din prima secundă după big bang era foarte scăzut; problemele care puteau fi rezolvate erau mai presante. Dar noile descrieri ale interacțiunii între particulele elementare la energii înalte arătau că acestea deveneau mai slabe și mai simple pe măsură ce temperaturile și energiile creșteau. Această proprietate a fost numită „libertate asimptotică”, pentru că, extrapolând și făcând energiile să tindă spre infinit, interacția dintre particule tinde asimptotic spre zero.

Fizicienii începuseră deja să caute o cale de a reuni cele patru forțe fundamentale din natură – gravitația, electromagnetismul, forțele nucleare tare și slabă – într-o singură teorie unificată. Teoria care îmbină forța slabă

(răspunzătoare pentru un anumit tip de radioactivitate) cu forța electromagnetică a fost formulată prima oară în

1967, pentru a fi în cele din urmă confirmată spectaculos prin descoperirea la CERN, în 1983, a două noi tipuri de particule elementare a căror existență fusese prezisă de „teoria electroslabă”. Cercetările erau acum concentrate în direcția adăugării forței tari (care ține nucleeele legate) pentru a obține „marea teorie unificată”, teorie care ar lăsa deoparte doar gravitația.

La prima vedere, aceste încercări de unificare par sortite eșecului, fiindcă știm că forțele fundamentale din natură au tării foarte diferite și acționează asupra unor clase diferite de particule. Cum se poate ca asemenea entități disparate să fie unul și același lucru? Răspunsul e că tăria forțelor din natură variază în funcție de temperatura mediului. Astfel, deși diferă mult între ele în lumea energiilor joase în care trăim, forțele suferă treptat schimbări pe măsură ce temperatura devine foarte ridicată. Teoriile speculative care au fost elaborate prevăd că forța tare și forța electroslabă trebuie să devină aproximativ egale la energii foarte înalte – circa 10^{15} GeV, corespunzând temperaturilor de circa 10^{28} °K –, cu mult peste orice ar putea fi vreodată obținut într-un accelerator de particule pe Pământ, însă la nivelul energiilor întâlnite în universul timpuriu la o fracțiune infimă de secundă (10^{-35} s) după începutul său. Am putea astfel testa dacă vreo mare teorie unificată are sens fizic explorând consecințele ei cosmologice. Mai mult, cosmologii ar fi putut vedea dacă aceste noi predicții privind comportamentul particulelor elementare lămuresc ceva din proprietățile neexplicate ale universului.

Așa cum am menționat, marile teorii unificate rezolvă problema unificării forțelor de tării diferite luând în considerație variația tăriei lor pe măsură ce temperatura crește (vezi figura 4.1).

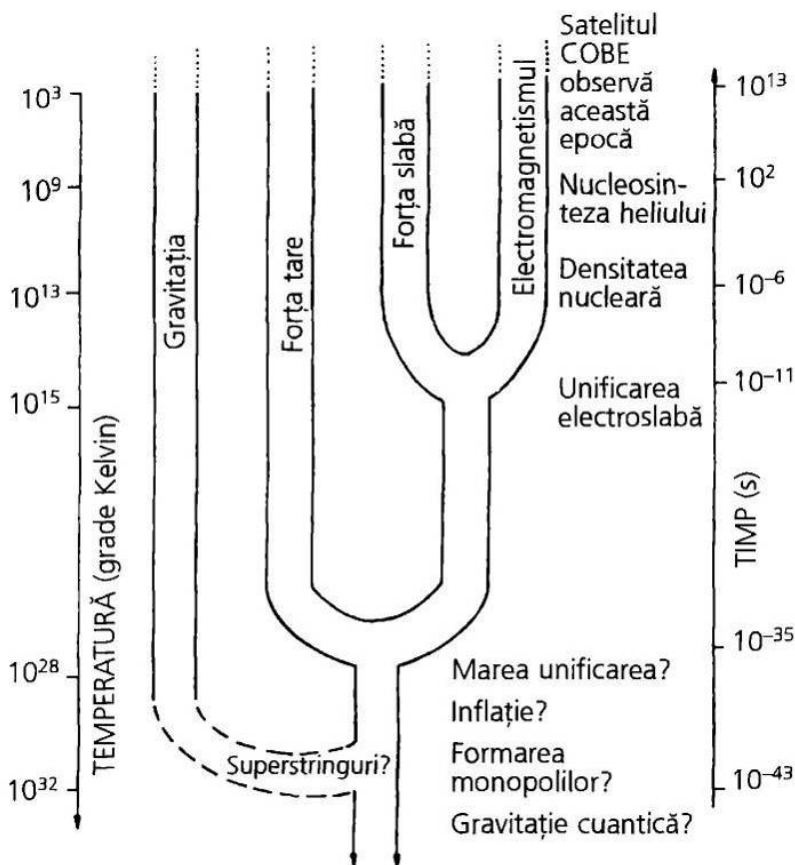


Figura 4.1. Scenariu al istoriei temperaturilor în primul milion de ani al universului. Coborând în urmă în timp, pe măsură ce temperatura crește, tăria efectivă a forțelor fundamentale din natură se modifică, și ne așteptăm să aibă loc unificări. Acestea sunt reprezentate prin contopirea forțelor.

Alt obstacol care trebuie depășit ține de faptul că fiecare forță acționează asupra unei clase diferite de particule elementare. Pentru unificarea deplină a forțelor, toate aceste particule trebuie să se poată transforma una într-alta. Aceasta necesită existența unor intermediari cu mase foarte mari – atât de mari

încât ei să poată apărea din abundență numai atunci când universul era suficient de fierbinte pentru ca ciocnirea dintre particule să ducă la crearea lor. Consecința inevitabilă a teoriilor marii unificări era apariția a două noi tipuri de particule grele. Primul tip, reprezentat de particula numită X, părea să fie o mană cerească: spre deosebire de toate particulele elementare cunoscute, ea poate transforma materia în antimaterie. Această trăsătură a dat marilor teorii unificate posibilitatea de a explica o stranie asimetrie din univers.

Fiecare tip de particulă elementară din natură, cu excepția fotonului, posedă o antiparticulă ale cărei caracteristici au valori opuse – așa cum polul nord al unui magnet e opus polului sud. Deși experimentele de laborator din fizica particulelor produc în mod perfect democratic atât particule cât și antiparticule, dacă cercetăm spațiul sau colectăm radiațiile cosmice, nu găsim dovezi decât pentru materia extraterestră – nicidecum pentru antimateria extraterestră. Universul pare să fie dominat de materie – și dacă așa este astăzi, au conchis cosmologii, așa trebuie să fi fost de la bun început, pentru că nu părea să existe vreo cale de a transforma antimateria în materie. Cu alte cuvinte, trebuia să fi existat o asimetrie inițială care să explice dezechilibrul din prezent; numai că explicarea asimetriei actuale pe baza afirmației că a existat o asimetrie specială la început nu lămurește mare lucru. Ne-am putea gândi că singura stare „firească” pare să fie cea în care există cantități egale de materie și antimaterie; dar pare imposibil ca o asemenea stare să se transforme în starea asimetrică pe care o observăm astăzi. În acest punct particulele X cerute de marile teorii unificate ne vin în ajutor. Un rezultat secundar al acțiunii lor de mediere în unificarea forței tari cu cea electrolabă este faptul că particulele X permit materiei să se transforme în antimaterie. Dar particulele X și antiparticulele lor nu se dezintegrează cu aceeași rată; prin urmare, o stare

inițială în care există un echilibru perfect între materie și antimaterie (număr egal de particule X și antiparticule X) se poate transforma într-o stare asimetrică prin aceste dezintegrări, chiar în primele clipe de viață ale universului.

Această posibilă soluție a asimetriei observate dintre materie și antimaterie a provocat, în perioada 1977—1980, un imens interes pentru cercetarea universului foarte timpuriu în rândul fizicienilor specializați în particule elementare. Existau însă și unele vești proaste pe care cei mai mulți le ignorau. Să ne amintim că particula X reprezenta una dintre cele două tipuri de particule care erau inevitabil produse pretutindeni în univers în primele sale momente. Dacă particulele X se dezintegrau imediat în cuarci și electroni, care se găsesc astăzi în atomii din jurul nostru, cel de-al doilea tip era nedorit și nu voia să dispară.

Aceste particule nedorite, numite „monopoli magnetici”, sunt necesare oricărei mari teorii unificate pentru a produce o lume ca a noastră – una care conține bine cunoscutele forțe electrică și magnetică. Din cauza legăturii lor cu electricitatea și magnetismul, ele nu puteau fi eliminate din teorie umblând pe ici pe colo la structura ei. Trebuia cumva găsită vreo cale de a le face să dispară din universul timpuriu imediat ce s-au format, pentru că observațiile noastre nu indică nicio dovadă că ar mai exista astăzi. Mai mult, dacă ar fi încă prezente, ele ar da o contribuție la densitatea universului de un miliard de ori mai mare decât toată materia obișnuită din stele și galaxii. Nu acesta e universul în care trăim. Pentru că o asemenea preponderență a materiei, sub orice formă s-ar găsi ea, ar fi provocat încetinirea expansiunii universului și prăbușirea lui în marea implozie (*big crunch*) cu miliarde de ani în urmă. Nici galaxiile, nici stelele, nici oamenii n-ar fi putut exista. Dificultatea era foarte serioasă. Cum putem scăpa de acești monopoli nedoriti sau cum putem

împiedica producerea lor? Răspunsul ar deschide un nou capitol în perspectiva noastră asupra universului și ne-ar schimba radical abordarea în înțelegerea genezei sale. Pentru ne da seama de profunzimea acestor schimbări, trebuie să încercăm să răspundem la două întrebări: E oare universul pe care-l vedem astăzi tot ce există? Și de ce forma lui actuală e atât de misterioasă.

Când vorbim despre univers, trebuie să facem o distincție importantă. Numim univers tot ce există. El ar putea fi infinit sau ar putea fi finit. Nu știm încă. Există apoi ceva numit *univers vizibil* – acea parte finită a universului pentru care lumina ce provine de la el a avut timp să ajungă la noi de când universul și-a început expansiunea (vezi figura 4.2). Putem să ne închipuim universul vizibil ca pe o minge imaginară cu o rază de aproximativ cincisprezece miliarde de ani lumină, avându-ne pe noi în centru. Cu trecerea timpului, dimensiunea universului nostru vizibil crește.

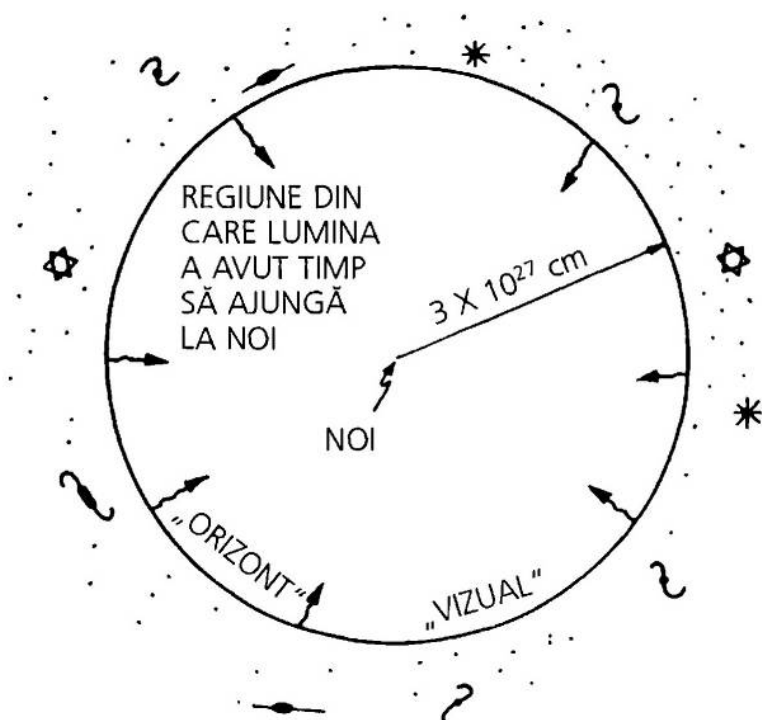


Figura 4.2. Universul vizibil e definit ca regiunea sferică din jurul nostru de la care lumina a avut timpul să ajungă de când universul și-a început expansiunea. Raza acestei sfere este de 3×10^{27} centimetri.

Să presupunem că refacem istoria regiunii care constituie universul nostru vizibil de astăzi. Ea a luat parte la expansiunea universală, astfel că materia aflată în ea (suficientă pentru a forma o sută de miliarde de galaxii în prezent) era conținută în trecut într-o regiune mult mai mică. Pe măsură ce raza acestei regiuni crește datorită expansiunii, temperatura radiației scade invers proporțional cu dimensiunea, în conformitate cu bine cunoscutele legi ale termodinamicii. Putem deci folosi temperatura radiației ca pe un etalon al dimensiunii părții vizibile a universului din trecut. Dacă dimensiunea se dublează, temperatura se înjumătățește.

Să considerăm acum un moment foarte îndepărtat în timp, momentul care, conform predicțiilor teoretice, corespunde mării unificări a trei dintre forțele fundamentale. Aceasta e epoca în care temperatura universului era suficient de ridicată pentru a produce particule X și monopoli, atingând o valoare de aproximativ $3 \times 10^{28} \text{K}$, iar pentru a găsi asemenea condiții trebuie să ne întoarcem în timp până la 10^{-35} secunde de la începutul expansiunii.

Astăzi, după aproximativ 10^{17} secunde de expansiune, temperatura radiației a coborât până la 3K . Astfel, din acel moment temperatura a scăzut cu un factor de 10^{28} , iar conținutul universului vizibil de astăzi era cuprins într-o sferă de 10^{28} ori mai mică decât cea a universului vizibil din prezent. Raza universului vizibil de astăzi e dată de vârsta lui înmulțită cu viteza luminii. După cum e notat și în figura 4.2, această rază este de aproximativ 3×10^{27} centimetri. Prin urmare, în epoca mării unificări, tot ce se află în universul nostru vizibil era conținut într-o sferă cu raza de 3 milimetri! Pare uluitor de puțin, însă problema e că, de fapt, e prea *mare*. Pentru că, la acel moment distanța pe care lumina putea s-o fi străbătut de la începutul expansiunii era egală cu viteza luminii (3×10^{10} centimetri pe secundă) înmulțită cu vârsta universului (10^{-35} secunde), ceea ce dă 3×10^{-25} centimetri (vezi figura 4.3). Aceasta e cea mai mare distanță pe care o putea străbate orice semnal de la începutul expansiunii. Ea este numită „distanța orizont”. Dacă vreo neregularitate din starea inițială a universului a fost eliminată prin frecare sau alte procese de netezire, orizontul dictează extinderea maximă a netezirii la orice moment de timp, pentru că aceste procese nu pot avea loc cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Problema este că regiunea care urma să se dilate pentru a deveni universul nostru vizibil de azi era în acel moment incomparabil mai mare decât dimensiunea distanței orizont. Suntem confrunțați aici

cu o mare dificultate.

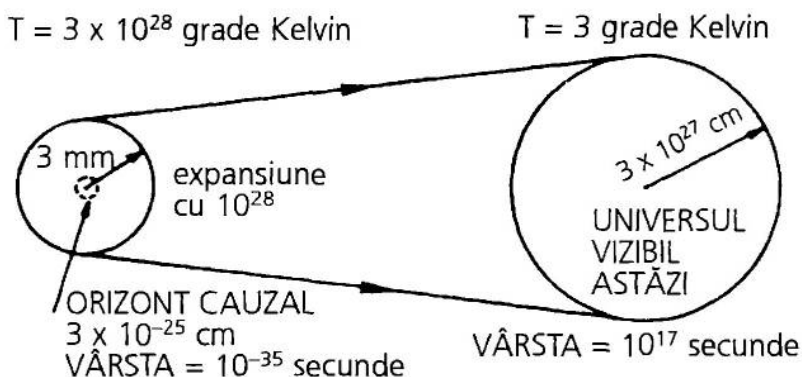


Figura 4.3. Dac\aa reconstituim istoria expansiunii universului nostru vizibil, la v\arsta de 10^{-35} secunde el era comprimat \u00eentr-o regiune cu raza de trei milimetri. Dar, la acest moment foarte timpuriu, lumina c\al\atorise doar aproximativ 10^{-25} centimetri. Aceast\aa valoare define\te „orizontul cauzal” la acel moment de timp.

Dificultatea const\aa \u00een a explica remarcabila regularitate a universului nostru de la un loc la altul \u0219i de la o direc\tie la alta [omogenitatea \u0219i izotropia universului], \u00een condi\țiile \u00een care ar fi alc\atuit dintr-un num\ar uria\ș de regiuni separate care odinioar\aa erau complet independente una de alta—\u00een sensul c\aa nu existase suficient timp de la \u00eenceputul universului ca lumina s\aa c\al\atoreasc\aa de la o regiune la alta. Cum au ajuns ele s\aa aib\aa aceea\și temperatur\aa \u0219i rat\aa de expansiune cu o abatere mai mic\aa de unu la mie (dup\aa cum o demonstreaz\aa izotropia radia\ției de fond de microunde), dac\aa nu a existat suficient timp pentru ca vreun transfer de c\al\dur\aa sau de energie s\aa le coordoneze? S-ar p\area c\aa trebuie s\aa tragem concluzia c\aa starea ini\țial\aa a fost astfel \u00eenc\at condi\țiile s\aa fie pur \u0219i simplu „create” la fel pretutindeni.

Problema este ubicuitatea monopolilor magnetici. Aceste particule se ivesc \u00een universul timpuriu acolo

unde există anomalii în orientarea câmpurilor de energie neobișnuite. Ori de câte ori apărea o anomalie în direcțiile acestor câmpuri, se forma un nod de energie – un monopol. Diametrul orizontului la acel moment, 10⁻²⁵ centimetri, ne dă distanța la care direcțiile acestor câmpuri de energie puteau fi aliniate iar anomaliile evitate. Dar, la acea vârstă timpurie, regiunea care urma să se dilate pentru a deveni universul nostru vizibil era de 10²⁴ ori mai mare decât dimensiunea orizontului, iar astfel trebuia să fi conținut un număr imens de anomalii, rezultând de aici un număr inacceptabil de mare de monopoli în universul nostru vizibil de astăzi. Aceasta se numește „problema monopolilor”.

Dar mai bine să nu intrăm în detalii și să urmărim în continuare ce s-a întâmplat. Fizicienii au elaborat teorii detaliate despre comportamentul materiei la temperaturi foarte ridicate. Aceste teorii trebuiau aplicate la descrierea primelor momente din istoria universului. Când sunt folosite pentru a reconstitui acele prime momente, rezultă o nouă înțelegere, mai profundă, care explică, de exemplu, cum a ajuns universul să favorizeze materia în detrimentul antimateriei. Numai că teoriile prevăd de asemenea existența unei uriașe abundențe cosmice de noi particule numite „monopoli magnetici” – abundență inexistentă. Motivul pentru care se prevăd monopoli în număr atât de mare este că întregul univers vizibil de astăzi s-a dilatat pornind de la o regiune care, la momentul producerii monopolilor, era cu mult mai mare decât distanța pe care o putea străbate lumina de la începutul expansiunii, și astfel ar fi conținut foarte multe anomalii energetice de tipul celor care generează monopoli. Fizicienii au fost atât de impresionați de succesele acestor mari teorii unificate încât, în loc să le abandoneze când au fost confrunțați cu problema monopolilor, ei au ignorat problema și au continuat să exploreze celelalte proprietăți ale teoriilor sperând, precum domnul Micawber^[2], că va apărea ceva

neașteptat. Și a apărut.

În 1979 Alan Guth, un tânăr fizician american, specialist în particule elementare, care lucra la Stanford Linear Accelerator Center, a găsit o cale să rezolve această problemă și să împace ideea marii unificări cu ceea ce știm despre univers. De atunci, conceptul său de „univers inflaționar” a devenit punctul central al studiilor despre universul foarte timpuriu, iar teoria inflației s-a dezvoltat ca o disciplină de sine stătătoare ce examinează toate căile prin care ideea sa fundamentală poate prinde viață.

Am văzut că problema monopolilor este o consecință a dimensiunii reduse a orizontului în universul foarte timpuriu. În zilele noastre, dimensiunea orizontului din epoca marii unificări s-ar fi extins la o regiune cu raza nu mai mare de o sută de kilometri. Dacă însă universul s-ar fi extins mai rapid în stadiile sale timpurii, regiunea de dimensiunea orizontului s-ar fi putut dilata până la dimensiunea universului vizibil din prezent. Asta propunea ipoteza universului inflaționar a lui Guth. Ea cerea ca universul să fi trecut printr-o scurtă perioadă de expansiune *accelerată* în stadiile sale foarte timpurii. Perioada necesară e foarte scurtă – o accelerare doar între 10^{-35} și 10^{-33} secunde de la big bang rezolvă problema (vezi figura 4.4).

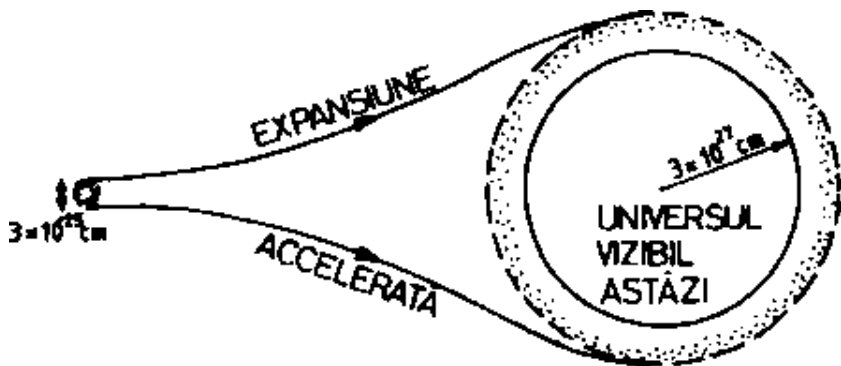


Figura 4.4 Inflația accelerează expansiunea timpurie a

universului și face posibilă dilatarea regiunii cu rază de 10^{-25} centimetri până la scara universului nostru vizibil de azi. Comparați cu expansiunea mai lentă din figura 4.3.

Dacă apare această accelerare, întregul nostru univers vizibil se poate extinde de la o regiune suficient de mică pentru a putea fi traversată de semnalele luminoase în timpul scurs de la începutul expansiunii. Uniformitatea și izotropia sa pot fi deci înțelese. Cel mai important lucru însă e că nu va exista un număr mare de monopoli, pentru că universul nostru vizibil s-a extins pornind de la o regiune atât de mică, încât ea ar fi cuprins cel mult o *singura* anomalie care produce monopoli. Problema monopolilor ar fi astfel rezolvată. În mod asemănător, uniformitatea observată în univers se explică nu prin vreun nou mecanism care să elimine monopoli sau prin vreun principiu care impune ca starea inițială să fie meticolos organizată, ci prin faptul că vedem numai imaginea dilatată a unei regiuni suficient de mici pentru a fi menținută uniformă de la început prin procesul de netezire care transportă excesul de energie de la regiunile mai fierbinți la cele mai reci. Neuniformitățile ar putea în continuare exista undeva, dincolo de orizontul nostru. Ele nu au fost disipate, ci pur și simplu se află acolo unde nu pot fi văzute.

Perioada foarte scurtă în care expansiunea universului e accelerată pare neînsemnată la scara istoriei universului, dar are implicații extraordinare. Am vorbit mai sus despre teoremele lui Penrose, Hawking, Geroch și Ellis legate de singularitate; vă amintiți că ele se bazează pe presupunerea că întotdeauna și pretutindeni materia e supusă atracției gravitaționale produsă de materie. La pagina 55 am arătat că forța de atracție a gravitației cere ca o cantitate D , care este suma densității și presiunii din univers, să fie pozitivă. Când această condiție e îndeplinită, toate universurile

aflate în expansiune sunt frânate; aceasta era prognoza pentru toate modelele big bang înainte de a apărea teoria inflației. Oricât de repede și-au început dilatarea și indiferent dacă se vor dilata la nesfârșit sau se vor prăbuși în marea implozie, efectul gravitației este de a încetini expansiunea din cauza atracției pe care orice materie o exercită asupra altei materii. Prin urmare, dacă vrem ca universul timpuriu să treacă printr-o scurtă perioadă de expansiune accelerată, trebuie ca efectele gravitației să devină temporar repulsive și deci cantitatea D să devină temporar negativă. Aceasta este esența ipotezei universului inflaționar: e o explicație a uniformității universului și o rezolvare a problemei monopolilor, întemeiată pe condiția ca să existe stări antigravitaționale ale materiei care pot crea această scurtă perioadă de accelerare curând după big bang. Dacă nu există în natură o astfel de materie, teoria cade. Dacă există, vom vedea în capitolul următor că în univers trebuie să fi rămas mărturii ale erei inflaționare.

În decursul anilor '60 se considera că e perfect rezonabil ca toate formele de materie să prezinte efecte gravitaționale de atracție și nu de respingere. În anii '80 însă cosmologii au ajuns să creadă că, la densități înalte, materia ar putea manifesta respingere gravitațională. Această schimbare de poziție a fost iarăși provocată de evoluția fizicii particulelor elementare – teoriile preziceau acum existența unor noi forme de materie care pot crea presiuni negative foarte mari. Aceste presiuni negative pot fi suficiente pentru a depăși efectul densității pozitive și a produce respingere gravitațională (adică o valoare negativă a cantității D). Dacă aceste forme de materie există în realitate și nu numai pe hârtie, ponderea lor poate crește foarte lent pe măsură ce universul se dilată și pot avea în cele din urmă efecte antigravitaționale asupra expansiunii. Expansiunea va fi astfel accelerată. Universul va cunoaște o „inflație” până când câmpurile de materie

răspunzătoare pentru antigravitație se vor dezintegra în forme mai obișnuite de materie și radiație – forme care prezintă numai atracție gravitațională. Universul va reveni apoi la starea dinainte de inflație, în care expansiunea e frânată, stare în care se află și azi. Acesta e în linii mari scenariul universului inflaționar pentru evoluția universului foarte timpuriu (vezi figura 4.5).

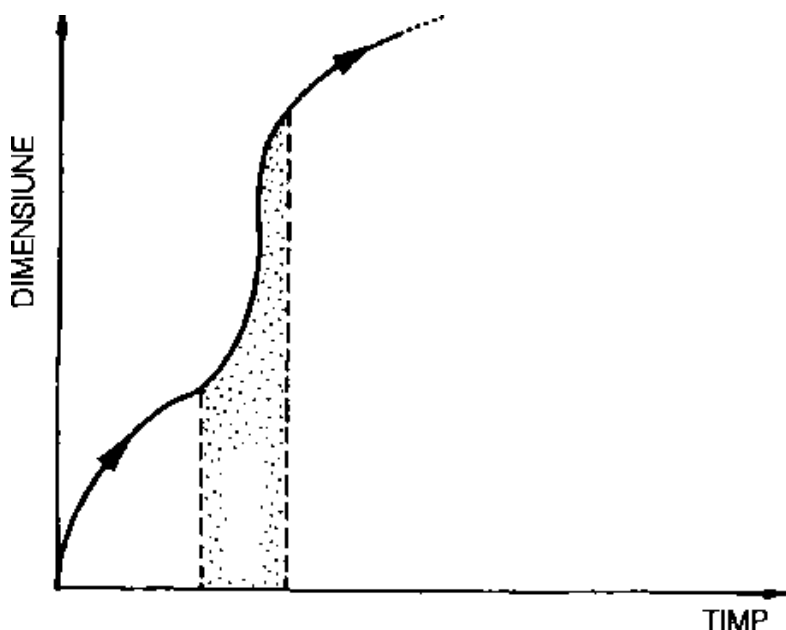


Figura 4.5. Variația în timp a razei unui univers inflaționar. Perioada inflației apare mult mărită în această reprezentare. În realitate a durat numai între 10^{-35} și 10^{-33} secunde după începutul expansiunii. Vârsta actuală e de aproximativ cincisprezece miliarde de ani. Figura prezintă începutul frânat al expansiunii, urmat de accelerarea din perioada inflaționară, pentru ca apoi expansiunea să fie din nou frânată.

Pentru cosmologi, scenariul e atrăgător din mai multe motive. Am văzut deja cum rezolvă problema monopolilor și ne permite să înțelegem uniformitatea universului la cea mai mare scară observabilă. Dar mai face și alte două predicții despre starea prezentă a

universului vizibil care ne permit să-l abandonăm dacă predicțiile nu se verifică.

Pentru a rezolva problema monopolilor, perioada de expansiune accelerată trebuie să fie de cel puțin șaptezeci de ori mai mare decât vârsta universului în momentul când a început accelerația. Atât ar trebui să dureze pentru a produce universul nostru vizibil pornind de la o regiune cu raza de un milimetru. O consecință importantă a acestei expansiuni accelerate este că face ca universul să se dilate mai repede și pe o perioadă mai lungă decât în absența ei. Fără inflație, el s-ar fi dilatat în mod natural numai o fracțiune de secundă înainte de a se contracta; datorită inflației expansiunea poate să dureze mai multe mii de miliarde de ani. Accelerația conduce universul nostru în expansiune foarte aproape de pragul critic care separă universurile ce se vor dilata la nesfârșit de cele care vor sfârși prin a se contracta până la marea implozie. Inflația oferă astfel o explicație naturală pentru misterioasa apropiere a universului vizibil de pragul critic (vezi figura 4.6).

Dacă perioada de expansiune accelerată durează suficient de mult pentru a explica de ce nu mai vedem monopoli magnetici, expansiunea din prezent ar trebui să se abată de la pragul critic cu mai puțin de o milionime – adică ar trebui ca densitatea medie observată a universului vizibil să se abată cu mai puțin de o milionime de la valoarea critică, care este 2×10^{-29} grame de materie pe centimetru cub de spațiu, în medie.

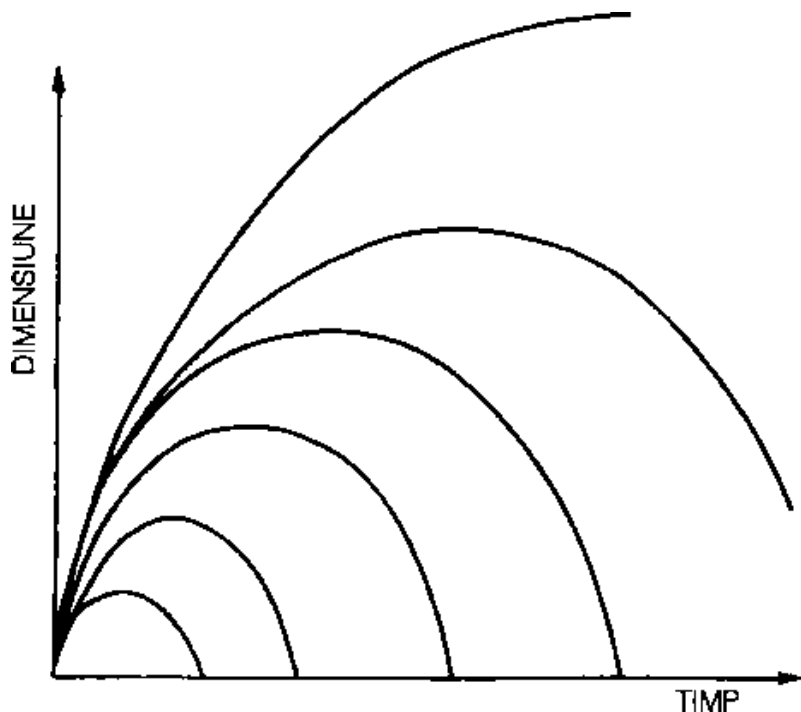


Figura 4.6. Serie de universuri închise diferite, cu diferite durate de viață. Universurile care se extind pentru cel mai îndelungat timp sunt cele mai apropiate de pragul critic.

Acest lucru este interesant din două motive. În primul rând, dacă densitatea e atât de apropiată de valoarea critică, nu vom avea niciodată posibilitatea să aflăm dacă universul nostru este deschis sau închis; prin observațiile noastre nu se poate măsura densitatea părții vizibile a universului cu o precizie de unu la un milion. A doua consecință însă e și mai importantă – datorită faptului că densitatea observată a materiei *luminoase* este cel puțin de zece ori mai mică decât valoarea critică. Dacă teoria inflaționară e corectă, cea mai mare parte a materiei din universul vizibil trebuie să se afle într-o formă neluminoasă, nu în stele și galaxii strălucitoare. Aceasta e o concluzie binevenită, pentru

că astronomii au fost multă vreme nedumeriți de faptul că observațiile asupra mișcării stelelor și galaxiilor arătau că aceste obiecte se deplasează mai repede decât s-ar putea explica prin forțele gravitaționale exercitate de materia luminoasă din preajma lor. Se pare deci că există o mare cantitate de materie întunecată, nevăzută, a cărei atracție gravitațională este răspunzătoare pentru mișcarea stelelor și galaxiilor pe care le vedem.

Prima noastră reacție față de asemenea estimări e să presupunem că trebuie să existe mai multă materie întunecată în spațiul interstelar și intergalactic (poate sub formă de stele foarte palide sau roci, gaz, praf și alte reziduuri) – materie care nu a fost înglobată în procesele ce conduc la formarea stelelor. Asta înseamnă că o hartă a distribuției luminii în univers nu ne dă informații utile privind distribuția materiei – o situație deloc neobișnuită. Dacă privim noaptea din spațiu spre Pământ și facem o hartă a distribuției luminii artificiale, constatăm că ea nu reproduce fidel harta densității populației pe glob. Ea reflectă în schimb distribuția bogăției. Marile orașe occidentale vor străluci cu putere, dar imensele centre urbane din lumea a treia vor fi slab luminate.

Din nefericire, lucrurile nu par să fie atât de simple în univers. Deși ne-am putea gândi că e firesc ca universul să conțină cantități mari de materie atomică și moleculară obișnuită răspândită în forme neluminoase, natura nu pare să împărtășească opinia noastră. Vă amintiți că una din pietrele de temelie ale teoriei despre universul în expansiune era capacitatea noastră de a prezice în detaliu rezultatul șirului de reacții nucleare care trebuie să fi avut loc pe când vârsta universului era de doar câteva minute. Aceste calcule sunt într-un remarcabil acord cu abundențele observate pentru hidrogen, litiu, deuteriu și cei doi izotopi ai heliului. Ele ne arată că densitatea materiei care ia parte la aceste reacții nucleare trebuie să contribuie cu nu mai mult de

o zecime din densitatea critică. Dacă densitatea reală ar fi mai mare decât densitatea critică, reacțiile nucleare ar fi înglobat atât de mulți neutroni în heliu-4 încât, ca produși secundari, ar fi rămas mult mai puține nuclee de deuteriu și heliu-3 decât observăm noi azi. Abundențele de heliu-3 și deuteriu ne dau o măsură precisă a densității cosmice de materie nucleară. Ele ne spun că, dacă în universul nostru densitatea materiei întunecate e apropiată de cea critică, atunci această materie nu se poate afla într-o formă care să participe la reacții nucleare.

De aici rezultă că ea trebuie să fie sub formă de particule în genul neutrinilor. Neutrinii nu au sarcină electrică și nu sunt afectați de forța electromagnetică. Nu simt nici influența forței nucleare tari; ei simt numai efectele gravitației și forței slabe.

Cunoaștem trei tipuri de neutrini și despre niciunul nu s-a constatat că ar avea o masă diferită de zero. Dar dovezile în acest sens nu sunt foarte convingătoare; datorită faptului că neutrinii interacționează atât de slab, experimentele care urmăresc detectarea maselor lor sunt extrem de dificile și n-au cum să pună în evidență masa foarte mică pe care neutrinii ar putea-o avea. Fizicienii care se ocupă de particule elementare nu se opresc însă aici. Încercările lor de a unifica toate forțele din natură prezic existența unor particule cu masă diferită de zero și care interacționează prin intermediul forței nucleare slabe, particule numite WIMP (*Weakly Interacting Massive Particles*) care n-au fost încă detectate în experimentele de pe Pământ. Unul dintre obiectivele noului accelerator conceput la Geneva este să pună în evidență aceste particule masive.

Dacă cele trei tipuri cunoscute de neutrini posedă mase care însumate nu dau mai mult de 90 de electron-volți (un atom de hidrogen are o masă de aproximativ un miliard de electron-volți)⁽³⁾ toți acești neutrini împrăștiați de-a lungul universului vor contribui cu o densitate care

depășește valoarea critică, iar universul va fi „închis” – adică sortit să colapseze în viitor. În mod asemănător, dacă există particule WIMP și ele au mase de două ori mai mari decât masa atomului de hidrogen, atunci teoria big bang prezice că densitatea lor cumulată va fi egală cu cea necesară pentru a închide universul.

Dacă universul este inițial alcătuit dintr-un ocean de asemenea particule interacționând slab, ne-am putea întreba de ce nu suntem în stare să le detectăm direct și să tranșăm o dată pentru totdeauna problema. Din păcate, nu avem nicio speranță să putem detecta vreodată direct un ocean universal al neutrinilor cunoscuți; din cauza masei lor foarte mici, neutrinii interacționează prea slab cu detectorii noștri. Tot ce putem face e să încercăm să măsurăm masa neutrinilor în laborator – unde pot fi produși la energii care permit observarea efectelor lor asupra altor particule – și să ne testăm predicțiile privind efectul lor asupra aglomerării materiei luminoase comparând simulările pe calculator cu observațiile noastre. Dacă însă particulele WIMP sunt cele care alcătuiesc materia întunecată, atunci lucrurile devin mult mai interesante. Aceste particule sunt de un miliard de ori mai masive decât ar putea fi neutrinii cunoscuți și ar trebui să lovească detectorii noștri cu mult mai multă energie. De fapt, stă în puterea noastră să detectăm un ocean de asemenea particule în universul din jurul nostru, dacă ele sunt suficient de numeroase pentru a alcătui materia întunecată.

În prezent, mai multe grupuri de experimenatori din Marea Britanie și Statele Unite construiesc detectori subterani în încercarea de a descoperi oceanul cosmic de particule WIMP. Când o asemenea particulă lovește nucleul unui atom dintr-un cristal, ea îi provoacă un recul și se va înregistra un semnal prin încălzirea ușoară a cristalului datorită energiei cedate. Dacă urmărim evenimente de acest tip într-un detector de un kilogram, ar trebui să găsim între unul și zece asemenea

evenimente în fiecare zi. Dacă am reuși să eliminăm toate celelalte semnale – provenind din radiația cosmică, dezintegrări radioactive și alte evenimente terestre – care ar putea îneca detectorul, ar trebui să putem afla dacă există particule WIMP în jurul nostru. Eliminarea semnalelor parazite se face plasând detectorul adânc sub pământ, într-o instalație de răcire care-l aduce la o temperatură mai mică de un grad Kelvin, și înconjurând instalația cu materiale absorbante (vezi figura 4.7).

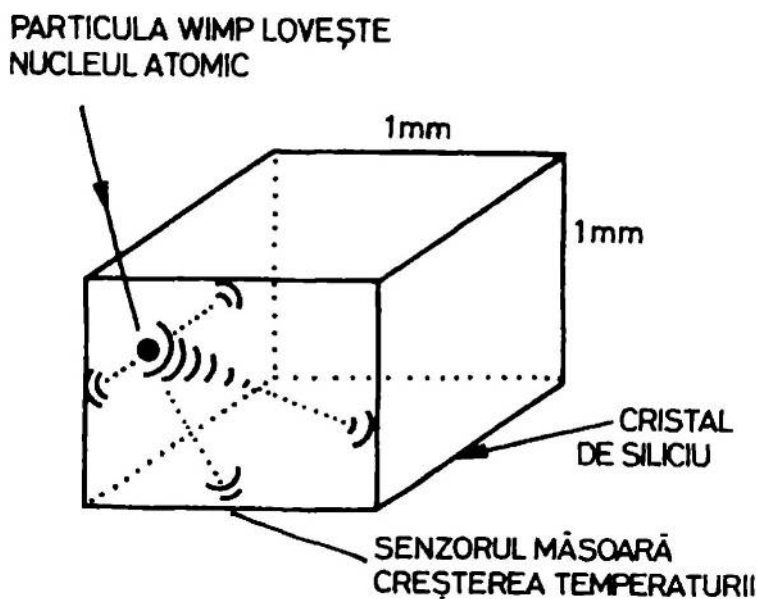


Figura 4.7. Un proces fizic care poate fi folosit pentru a detecta particulele WIMP. Un cristal mic (cu laturile de un milimetru) este răcit până la temperaturi de ordinul unei sutimi de grad Kelvin deasupra lui zero absolut. O particulă WIMP lovește nucleul unui atom din cristal. Nucleul reculează, dar e frânat rapid, eliberând energia reculului sub formă unei unde de șoc care încălzește cristalul într-o măsură mică, dar detectabilă.

În următorii câțiva ani sperăm să obținem primele rezultate din acest gen de experimente.^[4] Ele promit să dezvăluie lucruri remarcabile despre univers, pe căi

nebănuite. Dacă universul este „deschis” sau „închis” ar putea depinde de proprietățile celor mai mici particule de materie, iar acest lucru ar putea fi stabilit în fundul unei mine de pe Pământ, și nu cu ajutorul telescoapelor care scrutează cerul. Marile roiuri de galaxii pot fi doar o picătură în oceanul materiei din univers. Masa acestei materii, poate suficient de mare pentru a curba spațiul până la închiderea lui, s-ar putea afla într-o formă care să nu semene cu nimic din ce am detectat până acum în acceleratoarele noastre de particule. Aceasta ar fi ultima răsturnare copernicană a statutului nostru în universul material. Nu numai că nu ne aflăm în centrul universului, dar nici măcar nu suntem alcătuiți din forma de materie predominantă în univers.

5.

Inflația și cercetările satelitului COBE

„E o problemă destul de delicată, așa că te rog frumos să nu-mi vorbești timp de cincizeci de minute”.

Asociația roșcaților

În primăvara lui 1992 mijloacele de informare în masă din lumea întreagă au fost puse pe jar de anunțul NASA conform căruia satelitul COBE a observat mici variații în temperatura radiației cosmice de fond de jur-împrejurul cerului. Observând radiația dintr-o zonă din afara atmosferei terestre, satelitul a evitat variațiile-parazit produse de fenomenele din atmosferă și a obținut o acuratețe neatinsă în niciun experiment similar efectuat la sol. COBE și-a răsucit detectorul înainte și înapoi de-a lungul cerului, cu unghiuri de peste 10 grade (pentru comparație, fața vizibilă a Lunii pline corespunde unei jumătăți de grad pe cer) și a determinat diferența în temperatura fotonilor din radiația de fond de microunde venind spre noi din diferite direcții. Ce reprezintă aceste infime variații de temperatură și de ce toată lumea a primit cu emoție vestea (câțiva comentatori extravagandanți au ajuns chiar să afirme că datele obținute de satelitul COBE sunt cea mai importantă descoperire a tuturor timpurilor)?

Putem înțelege existența unor structuri precum stelele și planetele folosind principiile de bază ale fizicii. Când ajungem însă la galaxii, înțelegerea noastră este mult mai nesigură. Nu știm dacă o strategie similară de identificare a raporturilor între diferitele forțe din natură va fi suficientă pentru a explica de ce galaxiile și roiurile de galaxii au masele, formele și dimensiunile observate. Aproape sigur că nu. Galaxiile și roiurile de galaxii sunt insule de materie în care densitatea materiei e incomparabil mai mare decât densitatea medie din restul universului. Densitatea medie a Căii Lactee, de exemplu, e de aproximativ un milion de ori mai mare decât densitatea universului. Faptul că există asemenea neregularități nu-i un mister. Dacă pornim de la o distribuție perfect uniformă a materiei și introducem o ușoară neuniformitate, se va declanșa un efect în avalanșă, neuniformitatea devenind din ce în ce mai pronunțată. Aceasta pentru că va apărea o forță de atracție gravitațională mai mare oriunde există un cât de mic exces de materie, și mai multă materie va fi atrasă acolo din regiunile învecinate mai puțin dense, iar astfel acumularea continuă.

Acest proces poartă numele de „instabilitate gravitațională” și a fost descoperit de Isaac Newton în urmă cu trei sute de ani. Instabilitatea gravitațională apare indiferent dacă universul se dilată sau nu – dar într-un univers în expansiune e nevoie de mai mult timp pentru a se forma aglomerările de materie, deoarece expansiunea tinde să îndepărteze fragmentele unele de altele. La scara timpului cosmic însă, aglomerările trebuie să devină atât de dense în comparație cu restul universului, încât ele încetează să se mai dilate odată cu expansiunea universului (vezi figura 5.1). Devin insule stabile de materie, conservate de echilibrul între forța de atracție gravitațională dintre constituenții lor și presiunea exercitată de mișcarea acestor constituenți. Se poate însă observa că, dacă vrem să explicăm

originea galaxiilor și a roiurilor de galaxii prin procesul de instabilitate gravitațională, trebuie să știm câte ceva despre condițiile de la începutul expansiunii universului sau din clipele imediat următoare. Nivelul densității pe care-l ating neregularitățile la un moment dat depinde de nivelul densității cu care au pornit.

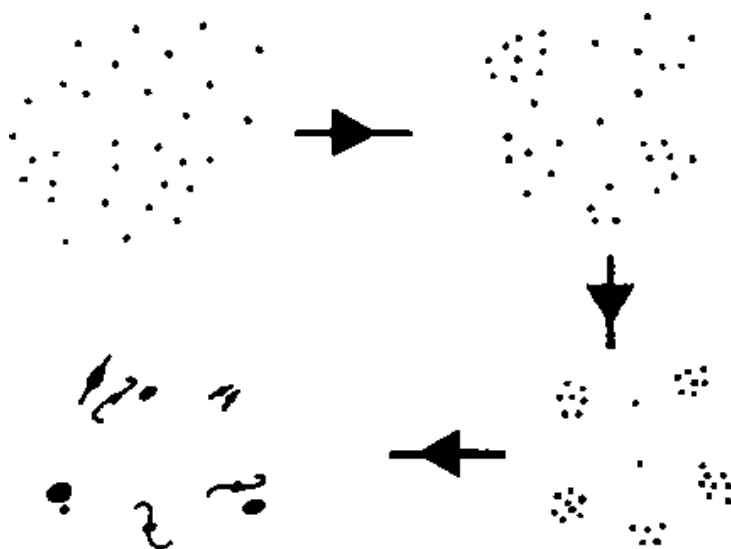


Figura 5.1. Procesul instabilității gravitaționale transformă treptat o distribuție de materie ușor neuniformă într-una tot mai concentrată.

Observațiile astronomice asupra celor mai îndepărtate galaxii și a presupușilor lor precursori ne arată că densități în exces de felul celor observate astăzi au existat pe când universul se dilatase cu o cincime din dilatarea lui actuală. Ceea ce trebuie însă să știm e cât de mari erau densitățile în exces pe când trecuse doar un milion de ani de la big bang, iar dilatarea era de o mie de ori mai mică decât cea actuală. Observarea condițiilor din acea epocă, cu mult înainte ca densitățile în exces să fi dat naștere galaxiilor și roiurilor de galaxii, a fost misiunea satelitului COBE. Informația era fosilizată în amprenta cosmică a microundelor, neatinsă

de evenimente ulterioare. Datele obținute de satelit încep acum să fie completate de rezultatele experimentelor de mare acuratețe făcute la sol.

După cum am văzut, radiația din perioadele fierbinți de la începutul universului se răcește pe măsură ce acesta se dilată. Când expansiunea a atins un milion de ani, radiația s-a răcit în așa măsură încât au început să se formeze atomi și molecule din nuclee și electroni. Înainte, ele s-ar fi dezintegrat instantaneu la întâlnirea cu fotonii de mare energie din radiația omniprezentă. În acea perioadă, fotonii au început să zboare liber prin spațiu și timp – purtând cu ei informații despre condițiile în care s-au născut – pentru a deveni radiația de fond de microunde pe care o observăm astăzi. În locurile unde densitatea este puțin mai mare decât media, temperatura radiației va scădea puțin mai lent decât în regiunile mai rarefiate. Ceea ce înseamnă că variațiile în temperatura radiației cosmice din prezent ne furnizează o imagine a distribuției materiei pe când universul avea abia vârsta de un milion de ani – cu mult înainte ca procesul de formare a galaxiilor să se fi încheiat.

Cosmologii au pierdut mulți ani căutând fără succes aceste variații cu detectori aflați pe Pământ; satelitul COBE le-a găsit în cele din urmă. Erau foarte mici – variații de numai unu la o sută de mii. Această cifră ne arată cât de mult trebuie să se fi amplificat neuniformitățile, prin instabilitatea gravitațională, pentru a deveni suficient de puternice ca să creeze primele galaxii și roiuri de galaxii, după miliarde de ani. Ea ne ajută să începem reconstituirea detaliată a evenimentelor care au dus la formarea galaxiilor în perioada care a trecut de-atunci. Descoperirea acestor fluctuații în radiația de fond a constituit desigur un eveniment, însă cosmologii nu au fost chiar surprinși. Surprinzătoare ar fi fost absența unor asemenea fluctuații, deoarece am fi fost obligați să presupunem că

galaxiile s-au format cumva fără ajutorul neregularităților inițiale – deci altfel decât prin procesul simplu al instabilității gravitaționale.

Aceste niveluri de fluctuație ne oferă de asemenea un mijloc de a testa anumite aspecte ale ipotezei universului inflaționar. Pentru a vedea cum e posibil, trebuie să privim mai îndeaproape fenomenul inflației.

Înainte să apară ideea inflației, originea galaxiilor și a roiurilor de galaxii era o problemă insolubilă. Nu exista niciun principiu care să ne spună cum au luat naștere aceste fluctuații ale densității materiei și radiației, când au apărut și cât de mari erau în momentul decuplării radiației de materie. Nu puteam decât să urmărim în trecut structura actuală a galaxiilor, presupunând că instabilitatea gravitațională a funcționat, pentru a determina nivelul scăzut de neregularitate la orice moment din trecut. Din păcate, nivelul fluctuațiilor aleatorii care e de așteptat să existe la orice moment în univers era mult prea mic pentru a genera structurile pe care le vedem astăzi.

Oamenii și-au dat curând seama că ideea inflaționară oferea o nouă soluție enigmei. Dacă o mică regiune trece printr-o perioadă de expansiune accelerată, fluctuațiile aleatorii suferă, la rândul lor, o inflație și devin germenii neregularităților la scara universului nostru vizibil de azi și dincolo de ea. Nivelul fluctuațiilor e determinat de formele antigravitaționale ale materiei (forme cu D negativ) care sunt răspunzătoare de expansiunea accelerată. Dacă am avea un anumit candidat pentru acea materie, am putea prezice nivelul fluctuațiilor ce apar în timpul inflației. Acesta ar putea fi un mare pas înainte în înțelegerea originii galaxiilor și a roiurilor de galaxii. Deși nu avem nevoie să știm cum a început universul, trebuie totuși să cunoaștem acel tip de materie antigravitațională care a declanșat inflația, pentru că nivelul neregularităților produse depinde foarte mult de natura ei și de tăria interacției sale atât

cu ea însăși, cât și cu celelalte forme obișnuite de materie. Dacă inflația a avut loc, intensitatea semnalului cules de COBE ne spune cât de puternice erau aceste interacții. Din fericire, există mai multe informații în semnalul cules de satelit – informații care nu depind atât de mult de identitatea materiei antigravitaționale care a generat inflația.

Când cartografiem distribuția galaxiilor și roiurilor de galaxii din univers constatăm că nivelul de aglomerare depinde de scara considerată. Pe măsură ce observăm regiuni din ce în ce mai mari din univers, vedem că aglomerările de materie se răresc treptat, așa încât, dacă vorbim despre nivelul de neregularitate din univers, trebuie să specificăm scara la care ne referim. Această variație în funcție de scară poartă numele de „gradient spectral” al neregularității. El poate fi determinat prin observații – fie cercetând structura roiurilor de galaxii, fie urmărind variațiile de temperatură în radiația de fond de microunde, la diferite unghiuri pe cer.

Unul dintre aspectele atrăgătoare ale teoriei inflaționare este că ea prezice că trebuie să existe un anumit gradient spectral. Variația relativă a temperaturii – diferența de temperatură măsurată între două direcții pe cer împărțită la temperatura medie a cerului – n-ar trebui să se modifice dacă crește unghiul dintre aceste două direcții. Numim „plat” un asemenea gradient spectral.

Observațiile satelitului COBE au fost de o importanță fundamentală deoarece ele au oferit dovezi privind fluctuațiile embrionare care s-au dezvoltat apoi în galaxii și roiuri de galaxii. Pentru cosmologi însă, perspectiva cea mai interesantă e să vadă dacă gradientul spectral al fluctuațiilor este în acord cu predicțiile celei mai simple teorii inflaționare. Satelitul a strâns date din perioade separate de observație de-a lungul câtorva ani, iar datele brute necesită o prelucrare complicată pentru a elimina efectele cunoscute ale mediului local –

electronica satelitului, apropierea Pământului și a Lunii etc. — care introduc erori. Rezultatele primei runde de observații au fost publicate în 1992; ele ne spun cu un coeficient de siguranță de 70% că gradientul spectral se află între $-0,4$ și $+0,6$ (gradientul spectral plat trebuie să fie zero). Când următoarele observații au fost prelucrate, la începutul lui 1994, iar datele inițiale au fost reanalizate folosind mai multe programe de calculator, s-a constatat că toate datele corespund unui gradient spectral între $-0,2$ și $+0,3$, cu un coeficient de siguranță de 70%. Analiza ultimelor date ar trebui să micșoreze intervalul în care se poate afla gradientul. Dacă toate aceste date se vor apropia de valoarea zero, ele vor aduce o confirmare remarcabilă a predicțiilor celor mai simple modele de univers inflaționar.

Satelitul COBE putea verifica forma gradientului spectral numai măsurând temperatura radiației cosmice de fond la unghiuri de 10 grade sau mai mari. Pentru a explora unghiuri mai mici e nevoie de un dispozitiv experimental prea mare pentru a putea fi trimis în spațiu. În prezent, există un număr de observații de înaltă precizie efectuate în diverse locuri de pe suprafața Pământului: Owens Valley în California, Tenerife în Insulele Canare și Polul Sud. (Motivul pentru care intervalurile unghiulare mai mari nu pot fi măsurate de la sol este că atmosfera Pământului variază prea mult în aceste intervaluri, iar datele sunt afectate.) În ianuarie 1994, echipa din Tenerife a publicat date privind fluctuațiile de temperatură pentru unghiuri mai mari de patru grade. Datele au confirmat observațiile satelitului COBE, indicând un gradient spectral mai mare de $-0,1$.

În concluzie putem spune că am aflat că scurta perioadă de expansiune accelerată pe care o numim „inflație” va produce în mod necesar mici variații de densitate a universului de la un loc la altul — variații care prezintă un anume gradient spectral. Acest gradient spectral se imprimă asupra radiației de fond de

microunde, iar noi putem verifica dacă gradientul spectral observat de satelitul COBE e în acord cu predicțiile inflaționare. Până acum, predicțiile sunt confirmate. Avem astfel o mărturie directă, obținută prin observații, asupra proceselor fizice care au putut avea loc pe când universul avea vârsta de numai 10^{-35} secunde. Ar trebui să ne considerăm norocoși. Nu e niciun motiv ca universul să fi fost proiectat așa încât să ne facă nouă pe plac. Ne întrebăm dacă vom găsi vreodată toate legile naturii sau dacă vom fi suficient de inteligenți pentru a descifra cele mai profunde structuri matematice care se află în centrul acestor legi doar prin gândire pură. Să presupunem că vom reuși: ar fi atunci un noroc extraordinar să găsim mijloacele de a testa experimental acele idei. De ce ar trebui să existe vestigii din primele clipe ale universului care să ne permită să ne verificăm ideile despre ce s-a petrecut atunci? Observațiile vitale privind structura profundă și trecutul îndepărtat al universului sunt puține, dar ar trebui să ne minunăm nu că sunt atât de puține vestigii, ci pur și simplu că există.

Am lămurit puțin ideea de univers inflaționar și consecințele ei asupra observațiilor astronomice. Până acum, acest scenariu despre felul în care s-a dilatat universul în primele momente pare o teorie promițătoare. Prelucrarea completă a datelor obținute de satelitul COBE și experimente complementare efectuate la sol ne-ar putea arăta dacă predicțiile teoriei sunt sau nu în acord cu variațiile radiației cosmice de fond. Să presupunem însă, împreună cu teoreticienii optimiști, că inflația este abordarea corectă a cosmologiei și să urmărim această abordare până la infirmarea ei prin observații. Ce implicații are inflația asupra imaginii noastre despre începutul universului?

Să ne amintim mai întâi că principala condiție ca inflația să aibă loc – prezența formelor de materie cu D negativ – este exact *opusul* celei luate în considerare în

teoremele lui Penrose, Hawking, Geroch și Ellis despre singularitate. Într-un univers inflaționar, aceste teoreme pur și simplu nu se aplică și nu putem trage absolut nicio concluzie despre începutul universului. Începutul ar putea fi legat de o singularitate, dar nu e neapărat necesar. În ciuda acestei incertitudini însă, inflația ne poate ajuta pe căi nebănuite să înțelegem cum arată universul.

Când am vorbit despre inflație, am prezentat acest proces ca și cum el s-ar fi petrecut în mod identic pretutindeni în univers. În realitate, putea să se fi petrecut diferit de la un loc la altul. Închipuiți-vă că universul, în perioada preinflaționară, era împărțit în regiuni, fiecare din ele fiind destul de mică pentru ca lumina s-o fi străbătut deja până la momentul începerii inflației. De la o regiune la alta, temperatura și densitatea diferă ușor (din cauza fluctuațiilor aleatorii) sau chiar dramatic (din cauza stărilor inițiale diferite), de aici rezultând perioade de inflație diferite. Unul sau altul dintre domeniile microscopice ar putea cunoaște o inflație enormă, astfel încât să ajungă în cele din urmă la dimensiuni de peste cincisprezece miliarde de ani-lumină, în timp ce pentru alte domenii inflația practic să nu aibă loc (vezi figura 5.2).

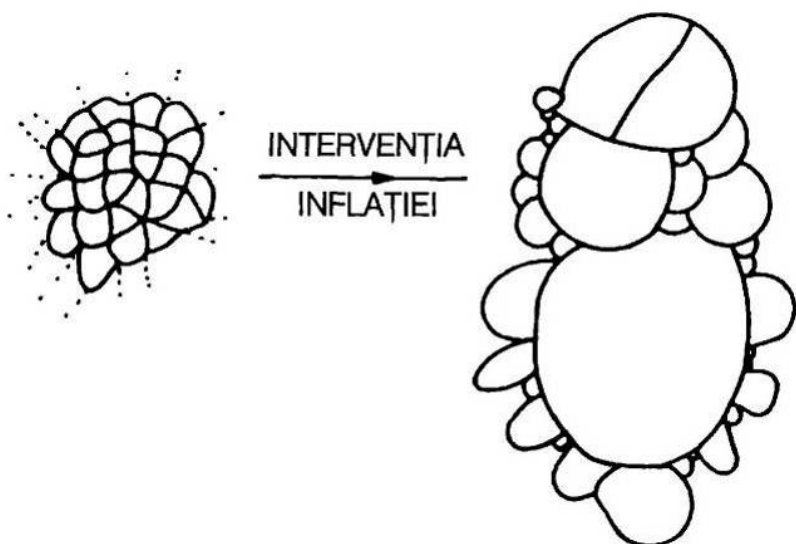


Figura 5.2. Inflație haotică. Regiuni minuscule din universul timpuriu suferă inflații diferite. Doar acele regiuni pentru care inflația e suficient de mare ca să producă universuri cu dimensiuni de cel puțin nouă miliarde de ani-lumină produc stele stabile, carbon și ființe vii care le pot observa.

Ne putem imagina o stare inițială aleator haotică a universului – un univers ce putea fi chiar nesfârșit în întindere. În unele regiuni ale spațiului condițiile vor permite ca inflația să aibă loc la amploarea necesară pentru a produce un univers vizibil de dimensiunea celui pe care îl vedem astăzi. În altele nu. Dacă am fi în stare să vedem dincolo de orizontul părții noastre vizibile de univers, am putea în cele din urmă întâlni unele din aceste domenii. Ele ar putea avea densități și temperaturi foarte diferite de cele din domeniul nostru. Când privim din această perspectivă unele modele de univers inflaționar, rezultă că diferențele pot fi chiar mult mai importante: de pildă, numărul de dimensiuni ale spațiului ar putea varia de la o parte a universului la alta.

Acest model, cunoscut sub numele de univers inflaționar haotic, a fost sugerat pentru prima dată de fizicianul sovietic Andrei Linde în 1983. Modelul introduce un nou punct de vedere în studiul universului. Am arătat deja că întinderea uriașă și vârsta impresionantă a universului nostru vizibil nu sunt întâmplătoare; ele sunt condiția necesară pentru existența complexității biochimice pe care o numim viață. Dintre toate domeniile microscopice care suferă diferite grade de inflație, numai cele care cunosc o inflație suficient de mare pentru a crește până la întinderi de miliarde de ani-lumină vor produce stele – iar astfel elementele grele necesare complexității biochimice. Din această perspectivă am învățat o lecție importantă. Chiar dacă e extrem de improbabil ca un domeniu să treacă printr-o inflație atât de mare, nu putem exclude scenariul pentru simplul motiv că nu putem trăi decât într-un asemenea domeniu improbabil de vast. Mai mult, dacă universul însuși e infinit în întindere, trebuie să existe regiuni de toate tipurile, inclusiv unele în care inflația e suficient de mare pentru a produce o regiune cum e universul nostru vizibil.

Linde a observat că această imagine a inflației haotice are și o altă trăsătură surprinzătoare. Unele domenii inflaționare creează fluctuații aleatorii interne care fac cu puțință ca subregiuni ale lor să cunoască inflații ulterioare, iar aceste subregiuni, la rândul lor, vor produce subregiuni care pot cunoaște alte inflații, și tot așa la infinit. Odată începută inflația, ea pare capabilă să se autoperpetueze. Dincolo de orizontul nostru trebuie să existe regiuni care sunt încă supuse inflației. S-ar putea ca acest proces perpetuu de inflație să nu aibă un început, însă problema rămâne deocamdată nerezolvată (vezi figura 5.3).

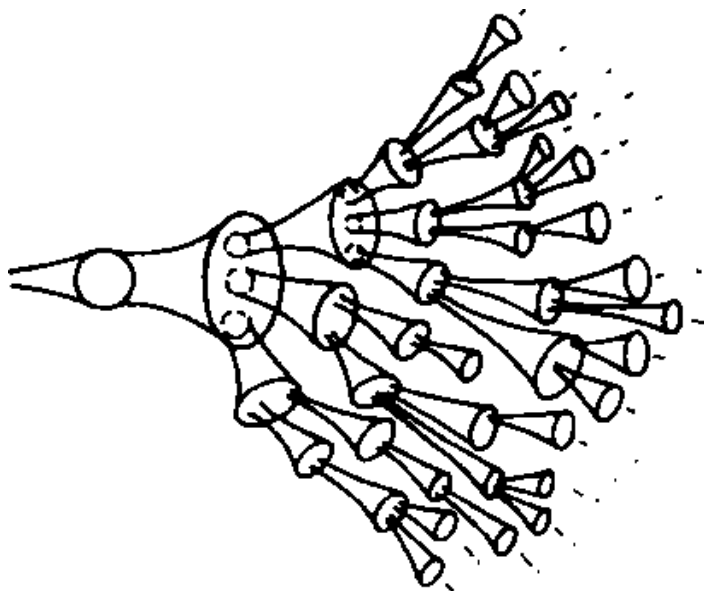


Figura 5.3. Inflația eternă. Fiecare regiune care cunoaște inflația creează condiții pentru ca subregiuni ale ei să treacă prin alte inflații, și așa mai departe la infinit.

Aceste scenarii gemene, al inflației haotice și al inflației eterne, ilustrează căile prin care ideea de univers inflaționar lărgeste noțiunile noastre de spațiu și timp. Ele sugerează că universul este cu mult mai complicat decât infima parte din el pe care o numim „univers vizibil”. Înainte de apariția teoriei inflaționare, asemenea posibilități erau discutate numai ca speculații metafizice. Modelul inflaționar, bazat pe anumite modele din fizica particulelor elementare, face ca aceste construcții metafizice să devină consecințe posibile ale condițiilor perfect plauzibile din universul timpuriu. Înainte ca teoria inflaționară să fie propusă, părea deplin întemeiat să credem că universul vizibil e, în medie, asemănător cu restul universului. Acum lucrurile s-au schimbat.

Dar deși cosmologia inflaționară oferă posibilități fascinante, ele sunt umbrite de incertitudini. Inflația ne

permite să înțelegem de ce universul vizibil prezintă multe din proprietățile pe care le observăm, indiferent de felul în care universul însuși a început. E o trăsătură bogată în consecințe: putem prezice prezentul fără a trebui să cunoaștem totul despre trecut. Dar există aici și un neajuns – care a fost prezentat și la sfârșitul capitolului 1. Dacă prezentul nu depinde în mod critic de detaliile felului în care universul a început, nu putem deduce aceste detalii observând universul de azi. Inflația a șters cu buretele trecutul îndepărtat.

Dar dacă inflația n-a avut niciodată loc? Sau ce-ar fi dacă ne-am concentra asupra istoriei preinflaționare a unuia singur dintre domeniile supuse inflației despre care tocmai am vorbit? Ce-am găsi dacă am urmări istoria lui dând timpul înapoi? Evident, am putea în continuare găsi o singularitate cu temperatură și densitate infinite. Există însă cel puțin patru posibilități foarte diferite, fiecare compatibilă cu ceea ce știm despre univers (vezi figura 5.4).

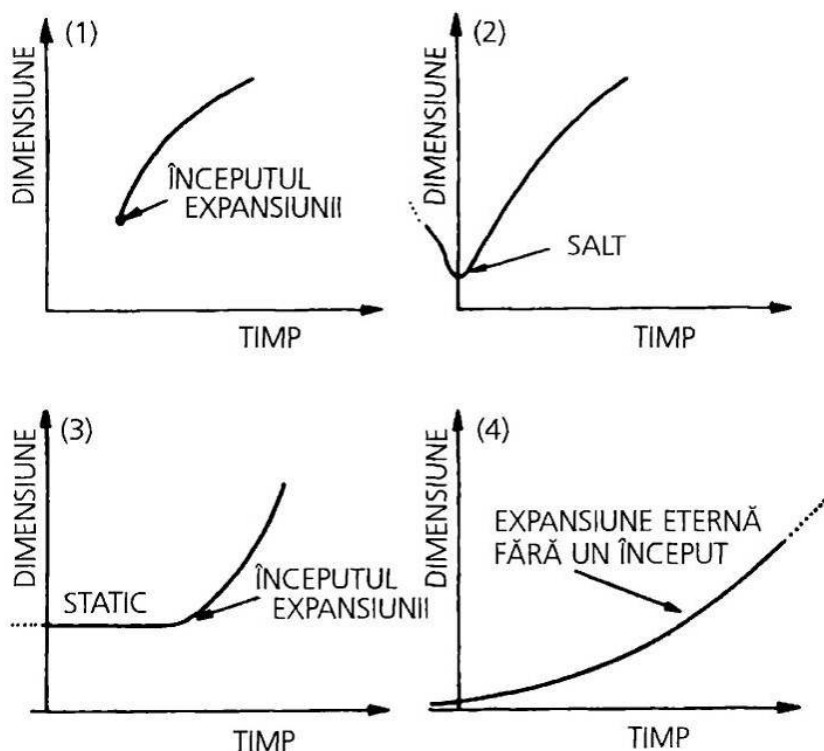


Figura 5.4 Câteva începuturi ipotetice ale expansiunii universului.

1) În loc să înceapă ca o stare de densitate infinită, universul cu spațiu, timp și materie se naște cu o densitate finită și continuă într-o stare de expansiune.

2) Universul „sare” într-o stare de expansiune dintr-o stare anterioară de contracție maximă, dar finită.

3) Universul își începe brusc expansiunea dintr-o stare statică în care se afla dintotdeauna.

4) Universul devine din ce în ce mai mic cu cât înaintăm în trecut, fără să ajungă însă la starea de dimensiune zero. Nu are început.

De ce sunt cunoștințele noastre atât de nesigure? De ce e atât de greu să extrapolăm teoriile noastre în urmă

în timp, până la acea ultimă fracțiune de secundă, pentru a ști dacă ele conduc sau nu spre un început precis? Am scos în evidență mai sus câteva etape cruciale din istoria expansiunii universului. După o secundă de expansiune, temperatura a scăzut suficient pentru a putea descrie acele condiții cu ajutorul fizicii terestre, și avem mărturii directe din acea epocă pentru a ne verifica reconstituirea. Întorcându-ne în timp la numai 10^{-11} secunde de la începutul expansiunii, întâlnim condiții asemănătoare celor din marile acceleratoare de particule de pe Pământ. Înainte de acest moment, ne aflăm în afara condițiilor pe care le putem simula parțial pe Pământ. Mai mult, cunoștințele noastre despre legile naturii implicate la aceste niveluri energetice sunt de asemenea nesigure. Căci n-am încheiat încă procesul de elaborare a unei teorii corecte și complete a particulelor elementare de materie, a forțelor care le guvernează și a efectelor acestora asupra expansiunii universului. Toate eforturile noastre teoretice se întemeiază pe presupunerea că teoria gravitației a lui Einstein descrie corect expansiunea universului ca întreg. Ce-i drept, ea a trecut toate testele observațiilor astronomice cu un succes uimitor. Dar ea nu va rezista până la capăt, pe drumul înapoi în timp către începutul expansiunii. La fel cum descrierea newtoniană a gravitației se prăbușește când e confruntată cu mișcări apropiate de viteza luminii și câmpuri gravitaționale foarte intense, ne așteptăm să întâlnim condiții în fața cărora minunata teorie a lui Einstein dă greș. Cu asemenea condiții ne-am confrunța dacă am încerca să sondăm primele 10^{-43} secunde ale expansiunii. La scara acestui „timp Planck”, cum e numit el, întregul univers este dominat de incertitudinea cuantică și va putea fi complet descris numai când vom ști cum se unifică gravitația cu celelalte trei forțe din natură într-o atotcuprinzătoare „teorie a tot ce există” [*Theory of Everything*]. Pentru a afla dacă universul a

avut sau nu un început, în orice sens am lua cuvântul „început”, trebuie să înțelegem cum se comportă gravitația în această perioadă. Acest comportament e o manifestare a bizareriilor aspectelor cuantice ale materiei.

Caracterul straniu al timpului Planck poate fi sesizat examinând descrierea cuantică a lumii subatomice – descriere elaborată până în cele mai mici detalii în ultimii șaptezeci de ani. Este partea cea mai precisă a fizicii, iar toate minunile tehnologice din jurul nostru – de la calculatoare la tomografia computerizată – se întemeiază pe mecanica cuantică. Când încercăm să observăm obiecte foarte mici, însuși actul observației va perturba semnificativ starea pe care vrem s-o măsurăm. Va exista prin urmare o limită fundamentală a preciziei cu care pot fi măsurate simultan poziția și mișcarea unui obiect. În lumea subatomică, nu putem prezice rezultate exacte pentru măsurători – ci doar *probabilități* de a obține anumite rezultate. Această stare de lucruri e de obicei prezentată pornind de la observația că materia și lumina, pe care ni le imaginăm alcătuite din particule foarte mici, manifestă în anumite împrejurări proprietăți ondulatorii. Aceste „unde de particule” pot fi asemănate mai curând cu undele de emoție decât cu undele de pe suprafața apei – pentru că ele sunt unde de informații. Dacă o undă de emoție ajunge în apropierea voastră, înseamnă că e mai probabil să întâlnim acolo un comportament emoțional. În mod asemănător, dacă unda unui electron ajunge la detectorul vostru, înseamnă că e mai probabil să detectați acolo electronul. Mecanica cuantică ne spune care e comportamentul ondulator al fiecărei particule de materie și, prin urmare, probabilitatea de a detecta o proprietate sau alta.

Fiecare particulă de materie are o lungime de undă caracteristică, asociată aspectului său cuantic ondulator. Această lungime de undă este invers

proporțională cu masa obiectului. Dacă dimensiunea obiectului e mult mai mare decât lungimea sa de undă cuantică, în toate aplicațiile practice putem ignora incertitudinile introduse de natura sa cuantică. Pentru obiectele mai mari, ca voi și ca mine, lungimea de undă cuantică este extrem, extrem de mică, și putem ignora cu toată încrederea aspectele incertitudinii de tip ondulator în privința poziției unei mașini atunci când ne pregătim să traversăm strada.⁽⁵⁾

Să presupunem că aplicăm aceste considerații universului vizibil. Astăzi el este coplesitor mai mare decât lungimea sa de undă cuantică, și putem neglija infimele efecte ale incertitudinii cuantice când îi descriem structura. Dar pe măsură ce ne întoarcem în timp, dimensiunea universului vizibil la fiecare moment din trecut devine tot mai mică, fiindcă dimensiunea universului vizibil la vârsta T este viteza luminii înmulțită cu T . Timpul Planck de 10^{-43} secunde este semnificativ pentru că, atunci când ajungem la acest timp formidabil de îndepărtat, dimensiunea universului vizibil devine mai mică decât lungimea sa de undă cuantică, iar astfel universul e învăluit de incertitudinea cuantică. În momentul când incertitudinea cuantică se impune asupra întregului univers, nu mai cunoaștem pozițiile a nimic, și nici măcar nu mai putem determina geometria spațiului. Acesta e punctul în care teoria gravitației a lui Einstein nu se mai aplică.

Această situație i-a îndemnat pe cosmologi să încerce să creeze o nouă teorie a gravitației, care să conțină toate aspectele cuantice ale gravitației, și să se folosească de ea pentru a găsi posibile universuri cuantice. Vom explora câteva din ideile apărute în aceste cercetări îndrăznețe. Ele nu se pretind a fi varianta finală a poveștii – ar putea fi doar o parte neînsemnată din ea –, dar nu încapă îndoială că povestea finală va trata într-o manieră cel puțin la fel de radicală conceptele cosmologice cu care suntem

obișnuiți.

În scenariile posibilelor începuturi ale expansiunii universului vizibil (vezi fig. 5.4) am arătat ce s-ar putea întâmpla cu dimensiunea universului pe măsură ce îi urmărim istoria întorcându-ne în timp. În unele variante există un început bine definit al timpului, al spațiului și a orice altceva într-o singularitate. În altele, spațiul și timpul au existat dintotdeauna. Există însă și o posibilitate mai subtilă. Să presupunem că natura însăși a timpului se schimbă când ajungem la timpul Planck. Problema începutului universului devine indisolubil legată de problema naturii timpului însuși.

6.

Timpul – o și mai scurtă istorie

„Fratele Mycroft ne face o vizită.”

Planurile Bruce-Partington

Adevărata natură a timpului e de multă vreme o problemă învăluită în mister. S-au confruntat cu ea gânditorii mai multor culturi, timp de mii de ani. Problema se pune în termenii următori: trebuie oare să privim timpul ca pe un fundal imuabil și transcendent, scenă pentru desfășurarea evenimentelor, sau timpul e pur și simplu evenimentele însele – așa încât, dacă nu se întâmplă nimic, nici timp nu există? Deosebirea ne interesează fiindcă, acceptând prima ipoteză, putem vorbi despre creația universului *în* timp. Alternativa e să privim timpul ca pe ceva care se naște odată cu universul. Nu a existat un „înainte” de începutul universului, pentru că înainte de început nu a existat timp.

Experiența noastră de zi cu zi măsoară timpul în termenii șirurilor de evenimente naturale ce se succed: oscilațiile pendulului în câmpul gravitațional al Pământului, umbra lăsată de Soare pe un cadran solar pe măsură ce Pământul se rotește sau vibrațiile unui atom de cesiu. Nu putem vorbi despre ce „este” timpul decât în termenii legați de felul în care îl măsurăm.

Timpul e adesea definit prin modul în care lucrurile se schimbă. Dacă această abordare e corectă, ne așteptăm să aflăm lucruri cu totul ieșite din comun despre natura timpului când ne confruntăm cu condițiile extraordinare din primele momente de după big bang.

Reprezentarea lui Newton asupra lumii a dat timpului un statut transcendental. Timpul trece pur și simplu inexorabil și uniform, neafectat în vreun fel de evenimente și de conținutul universului. Einstein își reprezenta timpul într-un mod total diferit. Geometria spațiului și ritmul curgerii timpului sunt determinate de conținutul de materie al universului. La fel ca natura spațiului einsteinian, timpul einsteinian se întemeiază pe premisa că nu există nicio perspectivă privilegiată asupra universului. Indiferent unde te afli și cum te miști, trebuie să deduci aceleași legi ale fizicii din experimentele pe care le efectuezi.

Acest mod democratic de a trata observatorii în teoria generală a relativității a lui Einstein înseamnă că nu există o cale preferențială de a indica timpul în univers. Nimeni nu măsoară vreodată un fenomen absolut numit „timp”; ceea ce măsurăm e ritmul unei anume transformări fizice din univers. Poate fi vorba de scurgerea nisipului într-o clepsidră, de mișcarea limbilor pe cadranul unui ceas sau de picuratul unui robinet. Nenumărate fenomene variabile pot fi folosite pentru a defini trecerea timpului. De exemplu, la scară cosmică, observatorii din univers ar putea folosi scăderea temperaturii radiației cosmice de fond pentru a indica timpul. Nicio măsură particulară a schimbării nu pare să fie „mai fundamentală” decât o alta.

Ne putem reprezenta intuitiv un întreg univers de spațiu și timp – un „spațiu-timp” – din teoria lui Einstein printr-un teanc de felii de spațiu (închipuiți-vă că spațiul are numai două dimensiuni în loc de trei, pentru a face cu puțință vizualizarea), fiecare felie reprezentând întreg spațiul la un anumit timp. Timpul e

pur și simplu indicele care identifică fiecare felie de spațiu din teanc (vezi figura 6.1). Putem vedea că teancul de spațiu-timp poate fi tăiat în mai multe moduri diferite – adică sub unghiuri diferite. Fiecare metodă posibilă de tăiere ne va da un mod diferit de a defini timpul. Însă amestecul de spațiu-timp nu e afectat de metoda de tăiere aleasă. Prin urmare, teancul spațiu-timp e entitatea fundamentală asupra căreia trebuie să ne concentrăm, și nu spațiul sau timpul luate separat.

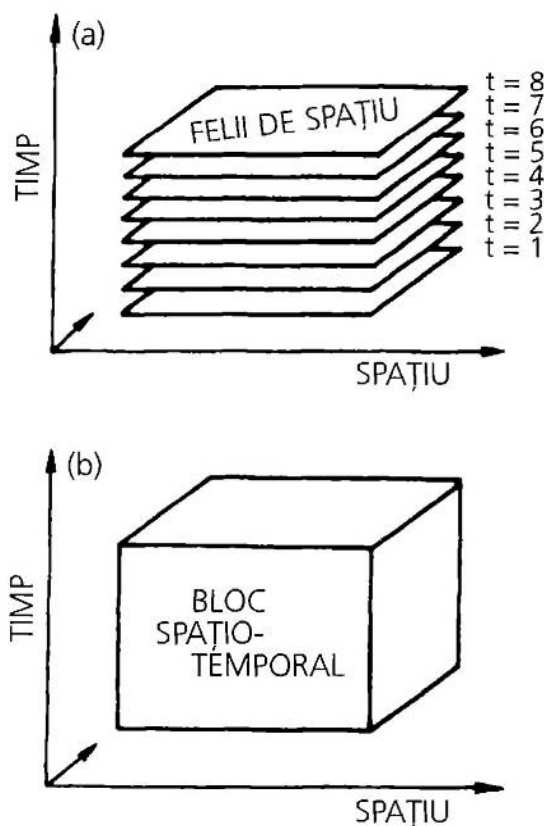


Figura 6.1. (a) Teanc de felii de spațiu luate la momente diferite de timp, indexate de la $t = 1$ la $t = 8$; (b) bloc de spațiu-timp alcătuit din toate feliile de spațiu. Blocul poate fi tăiat în mai multe feluri diferite de cel ales în

cazul (a).

În descrierea spațiului și timpului dată de Einstein, forma spațiului-timp e determinată de materia și energia pe care le conține. Aceasta înseamnă că timpul poate fi definit printr-o anumită proprietate geometrică – cum ar fi curbura – a fiecărei felii, deci în termenii densității și distribuției materiei din acea felie, fiindcă ele îi determină curbura. (Figura 6.2 prezintă o ilustrare simplă.) Începem astfel să întrevădem posibilitatea de a asocia timpul – inclusiv începutul și sfârșitul său – cu o anumită proprietate a conținutului universului.

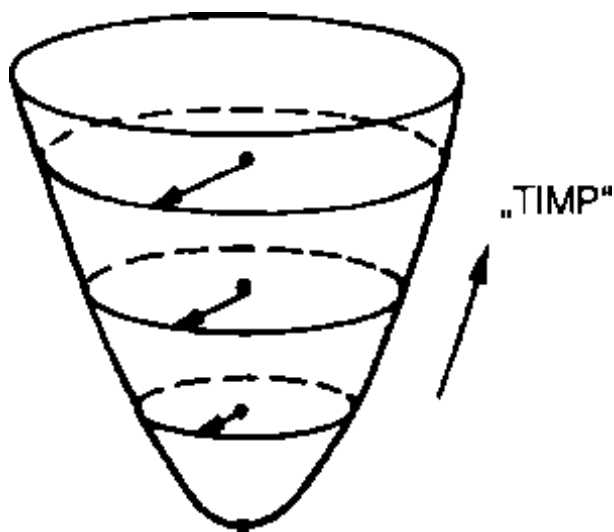


Figura 6.2 Acest spațiu-timp în formă de cupolă răsturnată e alcătuit dintr-un teanc de discuri circulare cu rază din ce în ce mai mare. Fiecărui disc i se poate asocia un „timp” indicat prin raza discului, așa încât acest „timp” geometric crește când urcăm de la 0 la 3.

În ciuda introducerii acestor subtilități privind natura timpului, relativitatea generală nu ne poate spune cum arăta universul la început. Teancul nostru de spațiu-timp are întotdeauna o primă felie care determină felul în care vor arăta cele de deasupra ei.

În teoria cuantică, natura timpului e un mister încă și mai mare. Dacă e definit operațional, în termenii altor proprietăți ale universului, el va suporta indirect restricțiile impuse de incertitudinea cuantică asupra cunoștințelor noastre privind aceste proprietăți. Orice încercare de a da o descriere cuantică a universului va avea consecințe foarte stranii asupra ideilor noastre despre timp. Cea mai stranie e afirmația că o cosmologie cuantică ne permite să descriem un univers care a fost creat din nimic.

Modelele cosmologice simple – cele care ignoră natura cuantică a realității – pot începe de la un moment dat din trecut, care e definit folosind anumite tipuri de ceasuri. Condițiile inițiale care dictează comportamentul viitor al universului trebuie stabilite la acel început. Aceste modele au fost folosite pentru a descrie starea actuală a universului, pentru că efectul mecanicii cuantice asupra universului de azi e infim. Dacă însă dorim să folosim asemenea modele în apropierea timpului Planck, trebuie să înțelegem cum va fi afectată descrierea timpului de includerea efectelor cuantice.

În cosmologia cuantică, timpul nu apare în mod explicit. El e un construct al conținuturilor de materie din univers și al configurațiilor lor. Din moment ce avem ecuații care ne spun ceva despre felul în care aceste configurații se modifică pe măsură ce trecem de la o felie de spațiu la alta, ar fi superfluu să mai vorbim despre ceva numit „timp”. Situația nu este foarte diferită de cea a unui ceas cu pendul. Poziția limbilor pe cadranul ceasului nu face decât să contabilizeze numărul de oscilații ale pendulului. Nu e neapărată nevoie să ne referim la ceva numit „timp”. Tot astfel, în cadrul cosmologiei, identificăm feliile din teancul de spațiu-timp după configurația materiei care modelează fiecare felie. Dar această informație despre distribuția materiei ne e dată numai *statistic* de teoria cuantică. Când măsurăm ceva, constatăm că se poate afla în oricare

dintr-o mulțime infinită de stări posibile. Mecanica cuantică ne spune numai care e *probabilitatea* de a se găsi în fiecare din aceste stări. Informația ce determină aceste probabilități e conținută în entitatea matematică cunoscută sub numele de „funcție de undă a universului”. Noi o vom nota cu W .

În prezent, cosmologii cred că există o cale de a afla forma lui W . S-ar putea dovedi că e o fundătură sau o simplificare mult prea grosolană. Mai optimiști, noi sperăm cel puțin să ne ofere indicii care să conducă la o mai bună aproximare a adevărului. Calea propusă folosește o ecuație introdusă de fizicienii americani John A. Wheeler și Bryce DeWitt. Ecuația Wheeler-DeWitt e o adaptare a faimoasei ecuații a lui Erwin Schrodinger, pe care o satisface funcția de undă în mecanica cuantică obișnuită, încorporând însă atributele spațiului curb din relativitatea generală. Dacă am cunoaște forma actuală a lui W , ecuația ne-ar spune care e probabilitatea ca universul vizibil să posedे anumite caracteristici la scară mare. Sperăm ca probabilitatea să se dovedească a fi copleșitor de mare pentru anumite configurații mari, aflate în expansiune, ale materiei și radiației – la fel cum obiectele mari din viața de zi cu zi au proprietăți bine definite, în ciuda minusculilor incertitudini ale mecanicii cuantice. Dacă valorile cele mai probabile corespund într-adevăr situațiilor observate de astronomi (prezicând, de pildă, anumite tipare de roiuri galactice sau anumite variații de temperatură în radiația cosmică de fond), atunci mulți cosmologi ar fi mulțumiți să constate că universul nostru este unul dintre cele mai „probabile” universuri posibile. Dar, pentru a folosi ecuația Wheeler-DeWitt ca să-l aflăm pe W pentru universul rece, cu densitate scăzută pe care îl observăm astăzi, trebuie să știm cum a fost W când universul avea densitatea și temperatura maximă – adică la „început”.

Cantitatea cea mai utilă implicată în utilizarea și studiul lui W este funcția de tranziție care ne dă

probabilitatea ca anumite schimbări să aibă loc în starea universului.

O notăm cu T , astfel încât $T[x_1, t_1 \rightarrow x_2, t_2]$ ne dă probabilitatea de a găsi universul în starea x_2 la timpul t_2 dacă el s-a aflat în starea la un timp anterior t_1 unde „timpii” sunt specificați printr-un atribut ale stării universului – cum ar fi, de pildă, densitatea sa medie.

În fizica necuantică, legile naturii dictează faptul că o anume stare viitoare apare dintr-o anume stare trecută; nu vorbim despre probabilități. În fizica cuantică însă – așa cum ne-a învățat fizicianul american Richard Feynman – o stare viitoare e determinată doar de o medie a tuturor drumurilor posibile prin spațiu și timp pe care istoria le-ar fi putut urma. Unul dintre aceste drumuri ar putea fi cel unic dictat de legile necuantice ale naturii. Numim acest drum „drumul clasic”. În unele situații, descrierea cuantică are o funcție de tranziție care e în mare măsură determinată de drumul clasic – celelalte drumuri anulându-se reciproc, cam așa cum se întâmplă cu minimele și maximele undelor defazate (vezi figura 6.3).

Oare toate stările inițiale posibile ale unui univers cuantic cu densitate foarte mare pot da naștere unui univers ca al nostru? Iată o întrebare care atinge aspecte profunde.

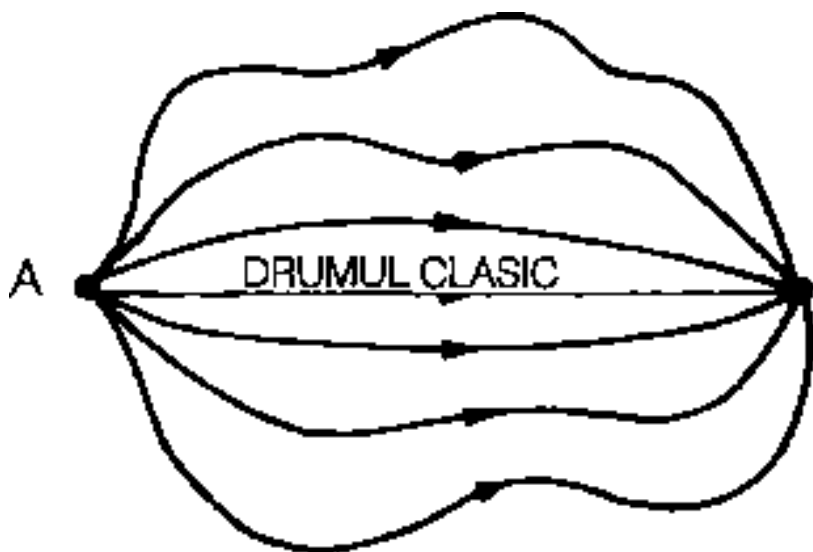


Figura 6.3. Drumuri posibile între A și B: legile newtoniene ale mișcării dictează urmarea „drumului clasic”. Mecanica cuantică dă pentru tranziția de la A la B o probabilitate care e o medie a tuturor drumurilor posibile între A și B, dintre care unele sunt indicate aici.

Universul nostru e unul în care incertitudinile cuantice sunt mici, ceea ce ne dă o senzație neambiguă de curgere a „timpului” în viața noastră de zi cu zi. Cerințele de a avea un univers ca al nostru – unul care permite existența vieții – se pot dovedi foarte restrictive, făcând ca universul nostru să fie unul aparte între toate lumile posibile.

În practică, funcția W depinde de configurația întregii materii și energii din univers, pentru o anumită felie tăiată în teancul spațiu-timp, precum și de un aspect intrinsec al feliiei (cum ar fi curbura ei) care îi asociază efectiv în mod unic „timpul” său, identificând felia din teanc. Ecuația Wheeler-DeWitt ne spune deci cum se leagă funcția de undă la o valoare a acestui timp intrinsec de forma sa la o altă valoare a timpului intrinsec. Când ne aflăm aproape de drumul clasic, aceste dezvoltări ale funcției de undă pot fi interpretate

ca mici modificări ale fizicii clasice obișnuite. Dar când drumul cel mai probabil e departe de cel clasic, devine din ce în ce mai dificil să spunem că evoluția cuantică are loc „în” timp – adică, mulțimea feliilor de spațiu pe care ni le dă ecuația Wheeler-DeWitt nu se așază unele peste altele pentru a alcătui ceva care să semene cu un spațiu-timp. Totuși, funcțiile de tranziție care ne dau probabilitățile ca universul să treacă dintr-o stare în alta pot fi în continuare găsite. Problema stării inițiale a funcției de undă devine acum analogul cuantic al căutării originii universului.

Funcția de tranziție ne spune care e probabilitatea ca universul să efectueze o tranziție de la o configurație geometrică a materiei la alta. Această evoluție de la o configurație la alta este prezentată în figura 6.4.

Ne putem închipui universuri pornind de la un singur punct și nu de la o felie inițială de spațiu. Ele ar fi conice, nu cilindrice (ca în figura 6.4). Ilustrarea lor e prezentată în figura 6.5.

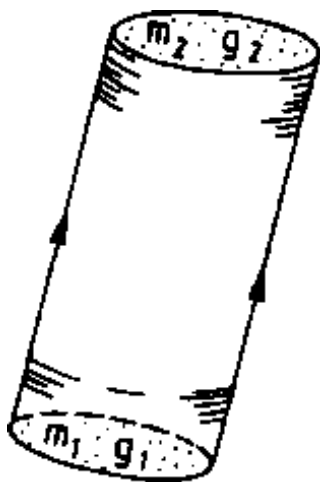


Figura 6.4. Câteva drumuri în spațiu-timp a căror frontieră e compusă din două spații tridimensionale cu curburile g_1 și g_2 și conținând materie având distribuțiile m_1 și m_2 . Regiunile de frontieră sunt marcate prin puncte și sunt reprezentate aici ca bazele bidimensionale ale

unui cilindru tridimensional.

Nu am făcut însă un progres real, fiindcă orice singularitate din modelele cosmologice necuantice se va profila ca o trăsătură singulară a drumului clasic, iar noi nu facem decât să alegem o condiție inițială particulară – care se întâmplă să descrie creația pornind de la un punct inițial preexistent – fără vreun motiv întemeiat.

Există un pas radical pe care îl putem face acum. Trebuie să subliniem că s-ar putea dovedi lipsit de orice semnificație fizică. E o chestiune de credință, călăuzită de estetică. Priviți figurile 6.4 și 6.5 și observați că stabilirea unei condiții inițiale g (se reflectă în starea spațiului din partea superioară a cilindrului (sau a conului) la g_2 . Poate că frontierele configurațiilor de la g_1 și g_2 ar putea fi cumva combinate, așa încât să descrie un singur spațiu neted, ca în figura 6.6, care nu conține nicio singularitate ce creează probleme.

Cunoaștem exemple de suprafețe simple bidimensionale, cum e suprafața unei mingi, care sunt netede și lipsite de puncte singulare ca acela din vârful unui con.

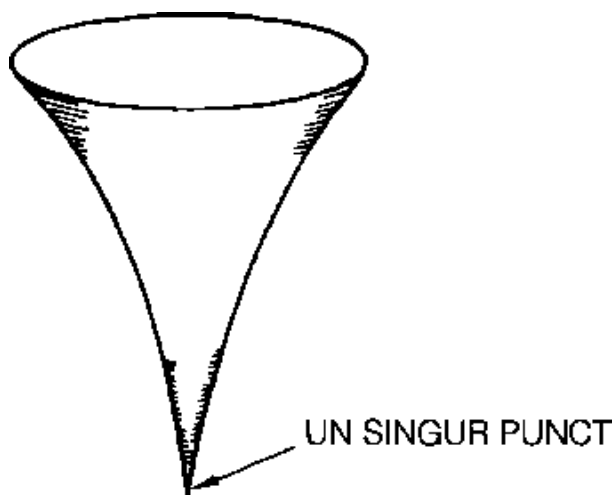


Figura 6.5. Drum spațio-temporal cu o frontieră compusă dintr-un spațiu tridimensional de curbura g_2 și un singur punct inițial.

Astfel, ne putem închipui întreaga frontieră a spațiului-timp cvadridimensional ca fiind nu și g_2 , ci o singură suprafață netedă cu trei dimensiuni. Ea ar semăna cu suprafața unei mingi dintr-un spațiu cu patru dimensiuni. Suprafețele mingilor prezintă caracteristica interesantă că au o mărime finită, dar n-au nicio margine: o asemenea suprafață are o arie finită (ai nevoie de o cantitate finită de vopsea ca s-o acoperi), dar dacă te deplasezi de jur-împrejurul ei nu întâlnești vreo margine sau vreun punct ascuțit, cum e vârful conului. Suprafața unei mingi *nu* are frontieră, din punctul de vedere al locuitorilor de pe ea. O situație analogă poate fi imaginată pentru starea inițială a universului. Dar – și aici urmează pasul radical – mingea pe care am folosit-o ca exemplu se află într-un spațiu tridimensional și are o suprafață bidimensională. Pentru geometria noastră cuantică avem nevoie de o suprafață tridimensională în *spațiul* cvadridimensional (și *nu* în *spațiul-timp* cvadridimensional, care se presupune că ar fi universul real).

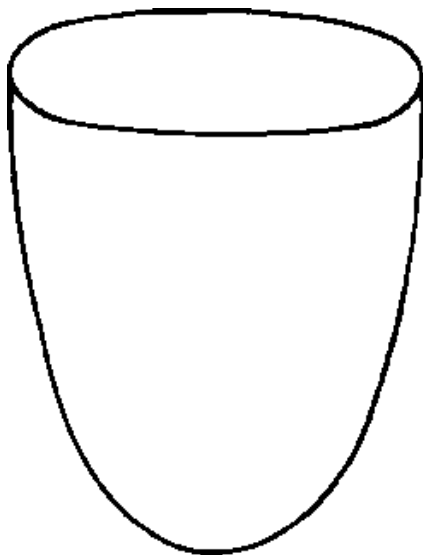


Figura 6.6. Un drum a cărui frontieră a fost netezită, așa încât ea constă dintr-un singur spațiu tridimensional, fără vreun punct la bază, cum e în figura 6.5. Aceasta permite ca probabilitatea sa de tranziție să fie interpretată ca fiind aceea a unui univers creat din nimic.

De aceea, în 1983, Stephen Hawking și fizicianul american James Hartle au propus ca noțiunea noastră obișnuită de timp să fie transcendată în acest cadru cuantic-cosmologic și să devină doar o altă dimensiune a spațiului.

Ideea nu e chiar atât de mistică pe cât pare, fiindcă fizicienii au folosit deseori acest truc de a transforma timpul în spațiu pentru rezolvarea anumitor probleme din mecanica cuantică obișnuită, cu toate că ei nu cred că timpul devine *cu adevărat* spațiu. La sfârșitul calculelor ei se întorc pur și simplu la interpretarea uzuală cu o singură dimensiune pentru timp și trei dimensiuni (calitativ diferite) pentru spațiu. Este ca și cum ar folosi temporar un alt limbaj.

Permiteți-mi o mică digresiune. Unul din lucrurile cele mai interesante legate de această idee de timp care devine spațiu este dificultatea de a transpune în cuvinte

o reprezentare bună a ceea ce se întâmplă. *Scurtă istorie a timpului*, cartea lui Hawking apărută în 1988, a fost prima încercare în acest sens. Popularizarea științei își propune explicarea abstracțiunilor matematice complicate prin imagini vizuale și analogii. Autorii compară deseori interacția dintre particulele elementare cu ciocnirea bilelor de biliard sau prezintă atomii ca pe niște minisisteme solare etc. La sfârșitul secolului al XIX-lea unii matematicieni francezi îi criticau pe fizicienii care se încăpățâneau să ofere o imagine mecanică a diferitelor fenomene fizice apelând la biluțe, roți, frânghii și așa mai departe. Popularizatorii se folosesc de faptul că există analogii simple între aspectele ezoterice ale universului și experiența noastră cotidiană. Dar ideea că timpul devine o altă dimensiune a spațiului nu pare să aibă un analog familiar. Poți să citești propoziția „Timpul devine o altă dimensiune a spațiului”, să înțelegi ce înseamnă fiecare cuvânt în parte, dar tot să nu pricepi cu adevărat despre ce e vorba. Inexistența unei analogii directe poate constitui o dificultate pentru cititorii *Scurtei istorii a timpului*. Ne așteptăm ca pentru aspectele cele mai profunde ale alcătuirii universului – adâncul spațiului microscopic al particulelor elementare sau spațiul cosmic al galaxiilor și găurilor negre – să existe analogii simple din viața de zi cu zi. S-ar putea ca lucrurile să nu stea așa. Într-adevăr, absența analogiilor poate fi un semn bun că înaintăm în cunoașterea realității și nu batem pasul pe loc reluând aceleași concepte arhicunoscute.

Caracterul radical al acestei abordări cuantice a timpului constă în faptul că tratează timpul ca fiind cu adevărat *asemănător* spațiului, în cadrul ultim cuantic-gravitațional al big bang-ului. Pe măsură ce ne îndepărtăm de începutul universului, ne așteptăm ca efectele cuantice să interfereze între ele, așa cum se întâmplă cu maximele și minimele undelor, iar universul să urmeze tot mai îndeaproape drumul clasic.

Caracterul convențional al timpului, care se deosebește calitativ de spațiu, începe să se cristalizeze în primele momente după timpul Planck. Și invers, pe măsură ce ne întoarcem în timp și ne apropiem de început, caracterul distinct al timpului se topește, iar timpul devine indiscernabil de spațiu.

Această eliminare a timpului din starea cuantică inițială a universului a fost sugerată de Hârtie și Hawking pentru că simplifică descrierea și evita singularitatea din starea de început. Din aceste motive ea a devenit cunoscută sub numele de „condiția fără frontieră” [*no-boundary condition*]. Mai precis, propunerea fără frontieră presupune ca funcția de undă a universului să fie determinată de o medie a tranzițiilor care sunt restricționate la spații cvadridimensionale cu o frontieră unică, finită și netedă, la fel ca cele sferice despre care am vorbit mai sus.

Probabilitatea de tranziție ce se obține pe această cale are o formă în care nu există stări anterioare celei inițiale. Prin urmare, condiția „fără frontieră” e numită deseori „creație din nimic”, pentru că în această descriere T ne dă probabilitatea ca un anumit tip de univers să fi fost creat din nimic. Drept consecință a propunerii ca „timpul să devină spațiu” nu există un moment sau un punct al creației.

Imaginea de ansamblu dată de acest început cuantic ne spune că, atunci când privim înapoi spre momentul pe care l-am numit timpul „zero”, însăși noțiunea de timp dispare. Acest tip de univers cuantic nu a existat dintotdeauna – el ia naștere, la fel cum se întâmplă în cosmologiile necuantice cu singularități –, dar nu începe cu un big bang la care cantitățile fizice sunt infinite și trebuie specificate condiții inițiale suplimentare. Nici în modelul big bang al creației dintr-o singularitate, și nici în modelul cuantic al creației, nu există vreo informație despre ce a putut da naștere universului și de ce.

Trebuie să subliniem din nou că ideea avansată de

Hârtie și Hawking e o propunere radicală. Ea conține două ingrediente: primul este că „timpul devine spațiu”; al doilea este condiția „fără frontieră”. Starea universului înglobează rolul condițiilor inițiale și al legilor naturii din reprezentarea tradițională. Chiar dacă acceptăm primul ingredient, există mai multe alegeri pe care le-am putea face în locul condiției fără frontieră pentru a preciza starea universului care apare din nimic.

În figura 6.7 e prezentată variația funcției de undă W a universului cu densitatea sa („ceasul”), în cazul condiției fără frontieră, precum și în cazul unei alte condiții posibile la frontieră, sugerată de fizicianul american Alex Vilenkin, care are un caracter complet diferit. Valorilor mari ale lui W le corespund probabilități mari. Vedem astfel că, pentru condiția fără frontieră, e cel mai puțin probabil ca universul să-și înceapă existența cu o densitate mare, în timp ce condiția lui Vilenkin face ca acest lucru să devină foarte probabil. Unii critici ai condiției fără frontieră susțin că e puțin probabil ca ea să conducă la un univers foarte timpuriu suficient de dens și de fierbinte pentru a cunoaște inflația.

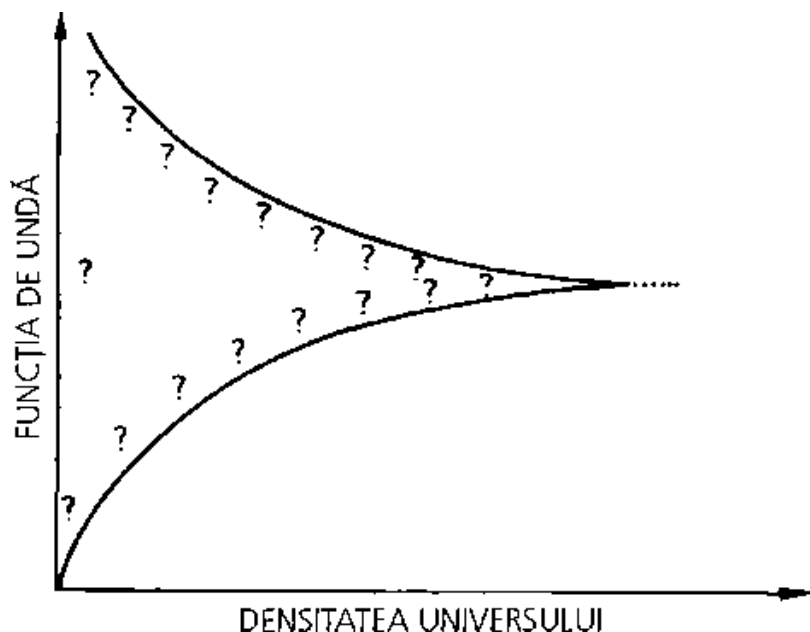


Figura 6.7. Variațiile posibile ale funcției de undă a universului cu densitatea materiei din univers. O valoare ridicată a funcției de undă corespunde unei probabilități ridicate de apariție. Sunt prezentate propunerile lui Hartle-Hawking (H) și Vilenkin (V) pentru funcția de undă. O mulțime de alte posibile variații s-ar putea găsi în zona intermediară (marcată prin „?”). Teoria nu mai dă rezultate demne de încredere la densități extrem de mari (linia punctată).

Studiul funcției de undă se află abia la începuturi. Ideile despre ea se vor schimba fără îndoială mult până când teoria va fi pusă la punct. Condiția fără frontieră lasă de dorit. Ea nu prevede micile neuniformități necesare pentru formarea galaxiilor. Trebuie completată cu informații suplimentare despre câmpurile de materie din univers și distribuția lor. Poate fi corectă, poate fi pe jumătate corectă sau poate fi falsă. Pesimistul ar putea spune chiar că nu vom fi niciodată în stare s-o aflăm, pentru că universul poate fi astfel alcătuit încât să nu lase nicio urmă a originii sale cuantice – sau niciuna

suficient de semnificativă pentru ca noi s-o observăm azi și să ne confruntăm ideile cu faptele. Dacă inflația a avut loc, atunci lucrurile ar putea într-adevăr să stea astfel.

Lecția importantă pe care o avem de învățat de aici este că felul nostru tradițional de a privi evoluția universului – în termenii condițiilor inițiale asupra cărora acționează legile transformării – ar putea fi complet greșit. Ar putea fi doar rezultatul experienței noastre într-un domeniu al naturii unde efectele cuantic-gravitaționale sunt extrem de mici. Condiția fără frontieră și modelele alternative par să fi fost alese grație simplității lor și faptului că permit cu ușurință efectuarea calculelor. Din câte știm, ele nu sunt impuse de logica internă a universului cuantic.

Ideea că condițiile de la început sunt independente de legile naturii trebuie reanalizată în cazul stării inițiale a universului. Dacă universul e unic – pentru că e singura posibilitate care nu violează logica –, atunci condițiile inițiale sunt la rândul lor unice și devin ele însele legi ale naturii. Pe de altă parte, dacă credem că există mai multe universuri posibile – ar putea *într-adevăr* exista multe alte universuri –, atunci condițiile inițiale n-au nevoie de un statut aparte. Ar putea fi cu toate îndeplinite undeva.

Opinia tradițională potrivit căreia condițiile inițiale îi privesc pe teologi, iar legile transformării pe fizicieni pare să fie infirmată – cel puțin pentru moment. Cosmologii s-au angajat acum în studiul condițiilor inițiale spre a descoperi dacă există o „lege” a condițiilor inițiale, pentru care propunerea fără frontieră e doar unul dintre exemplele posibile. Evident, propunerea e radicală, dar s-ar putea să nu fie suficient de radicală. Este tulburător că atât de multe dintre conceptele cosmologiei cuantice moderne – „creația din nimic”, „timpul care ia ființă odată cu universul” – nu sunt decât reprezentări elaborate ale intuițiilor umane

tradiționale și ale categoriilor filosofice de care teologii medievali nu s-ar considera străini. Desigur, aceste noțiuni tradiționale au stat la baza multor concepte cosmologice moderne, chiar dacă aceste concepte sunt exprimate sub formă matematică. Ideea de spațiu care devine timp, avansată de Hartie și Hawking, este elementul cu adevărat radical al cosmologiei care nu poate fi regăsit în moștenirea generațiilor trecute de filosofi și teologi. E de presupus că va trebui să abandonăm multe concepte cu care ne-am obișnuit înainte ca reprezentarea corectă să iasă la iveală.

În ciuda încrederii cu care unii cosmologi moderni și-au pus întrebări privind originea universului – încredere ilustrată de publicarea unor articole purtând titluri precum „Creația universului din nimic” –, ar trebui să fim precauți. Toate aceste teorii trebuie să presupună de la bun început mult mai mult decât conceptul uzual de „nimic” pentru a ne spune ceva cu adevărat interesant. Trebuie să existe de la început legi ale naturii (ecuația Wheeler-DeWitt, în cazul nostru), energie, masă, geometrie; și, desigur, toate par să se întemeieze pe lumea omniprezentă a matematicii și logicii. Trebuie să existe o temelie solidă a rațiunii înainte de a clădi o explicație completă a universului, oricare ar fi ea. Această rațiune care fundamentează totul e scoasă în evidență de teologii moderni atunci când sunt întrebați despre rolul lui Dumnezeu în univers. Ei nu privesc Divinitatea pur și simplu ca pe un Marele Inițiator al expansiunii universului.

Acea parte a cercetării științifice care încearcă să explice existența universului ca pe o consecință a unei stări anterioare constând din *absolut nimic* contrazice ideea noastră adânc înrădăcinată că „nimic nu se obține gratis”. Cei care nu au pregătire științifică sunt convinși că nu poți fabrica ceva din nimic. Dacă ne propunem să dăm o descriere științifică a nașterii universului, prima obiecție cu care suntem întâmpinați e că încercăm să

obținem ceva din nimic, pentru că ar trebui să aducem la viață un univers care posedă energie, moment cinetic și sarcină electrică. Asta ar contrazice legile naturii, care așază la loc de cinste conservarea acestor cantități, iar astfel creația universului din nimic nu poate fi consecința acestor legi.

Argumentul pare într-adevăr destul de convingător, dacă nu cercetezi mai în amănunt care ar putea fi energia, momentul cinetic și sarcina electrică ale universului. Dacă universul ca atare ar poseda moment cinetic, atunci, la scara cea mai mare, expansiunea ar avea și o mișcare de rotație. Galaxiile aflate la cea mai mare distanță nu numai că s-ar îndepărta de noi, dar s-ar mișca și *de-a lungul* cerului. Deși această deplasare laterală ar fi prea lentă pentru a o putea observa direct, există alte indicii clare care ar putea pune în evidență o rotație cosmică. Dacă cercetăm efectele rotației Pământului, vedem că ea provoacă o ușoară turtire la poli. Un fenomen asemănător ar avea loc dacă universul s-ar roti: de-a lungul axei de rotație dilatarea ar fi mai lentă decât în alte direcții. Prin urmare, radiația de fond de microunde ar avea temperatura cea mai ridicată dacă ar veni din direcția axei de rotație și temperatura cea mai scăzută dacă ar veni din direcții perpendiculare pe axa de rotație. Faptul că temperatura radiației este aceeași în toate direcțiile cu o precizie de unu la o sută de mii ne spune că, dacă universul s-ar roti, el ar trebui să se rotească de peste un trilion de ori mai lent decât viteza sa de expansiune. Acest raport e atât de mic încât ne sugerează că universul ar putea avea o rotație netă și un moment cinetic egale cu *zero*.

În mod asemănător, nu există niciun indiciu că universul ar poseda o sarcină electrică globală netă. Dacă vreo structură cosmică ar poseda sarcină electrică – datorită unui dezechilibru între, de pildă, numărul de protoni și numărul de electroni din interiorul ei – acest dezechilibru ar avea un efect dramatic asupra

expansiunii universului, pentru că electricitatea este cu mult mai puternică decât forța gravitației. De fapt, o consecință remarcabilă a teoriei gravitației a lui Einstein este că un univers „închis” – unul care se va contracta până la o singularitate – *trebuie* să aibă sarcina electrică totală *zero*; altfel spus, însumarea tuturor sarcinilor electrice individuale ale întregii materii pe care o conține trebuie să dea rezultatul zero.

În fine, ce se poate spune despre energia universului? Este exemplul intuitiv cel mai familiar că nu poți produce ceva din nimic. Dar, fapt remarcabil, dacă universul e închis, atunci trebuie să aibă energie totală *zero*. Motivul ține de formula lui Einstein $E = mc^2$, care ne amintește că masa și energia sunt interșanjabile și că ar trebui să ne gândim mai degrabă la conservarea *masei-energie*, nu la conservarea masei sau energiei luate separat. E important de observat aici că energia care se găsește sub alte forme decât cea de masă poate fi și pozitivă și negativă. Dacă însumăm toate masele dintr-un univers închis, ele dau o contribuție pozitivă uriașă la energia totală a masei. Numai că aceste mase exercită și o forță gravitațională una asupra alteia. Această forță este echivalentă cu o energie negativă – sau cu ceea ce numim „energie potențială”. Dacă ținem în mână o minge, ea are o energie potențială de acest tip: când lăsăm mingea să cadă, pe seama ei se creează o energie pozitivă de mișcare. Legea gravitației garantează că energia potențială negativă a gravitației dintre mase în univers trebuie să fie întotdeauna egală ca mărime, dar de semn opus, cu suma energiilor mc^2 asociate fiecărei mase individuale. Suma este deci întotdeauna exact zero!

Iată o situație remarcabilă. Se pare că valorile universale ale celor trei cantități care se conservă, și care ne-ar împiedica să obținem ceva din nimic, ar putea fi toate egale cu zero. Nu se cunosc încă implicațiile cele mai profunde ale acestui fapt. Dar s-ar

părea că legile de conservare din natură nu trebuie să fie un obstacol în calea apariției universului din nimic (sau a dispariției lui în nimic). Legile naturii ar putea descrie procesul creației.

Pentru a încheia această discuție despre ramificațiile științifice ale creației din nimic, să ne întoarcem la ideea că universul a început de la o singularitate a spațiului și timpului. Condiția fără frontieră din cosmologia cuantică elimină necesitatea unui asemenea început printr-un cataclism, motiv pentru care e la modă în rândul cosmologilor. Ar trebui totuși să ne pună pe gânduri faptul că multe studii de cosmologie cuantică sunt pornite cu scopul de a evita o singularitate inițială de densitate infinită, așa încât ele tind să se concentreze asupra cosmologiilor cuantice care evită singularitatea, în detrimentul celor care ar putea conține o singularitate. Trebuie din nou subliniat că modelul big bang tradițional al universului ce apare dintr-o singularitate este, strict vorbind, de asemenea o creație pornind de la absolut nimic. Nu se raportează la nicio cauză și nu se pun niciun fel de restricții asupra formei universului ce apare. Nu există un timp anterior, un spațiu anterior sau o materie anterioară. Cercetătorii creației cuantice speră că, urmărind descrierea unui univers cu un grad foarte ridicat de probabilitate, pornind de la o anume stare cuantică inevitabilă, vom afla de ce universul nostru posedă atâtea proprietăți neobișnuite. Din păcate, multe din aceste proprietăți ar fi putut apărea într-o perioadă mai târzie de expansiune inflaționară, iar inflația poate lua naștere dintr-o gamă largă de stări cuantice inițiale.

7. În labirint

„Frumoasă lovitură, Watson; foarte frumoasă lovitură!”

Pata argintie

Tot ce ne înconjoară, de la verde la regi, au densitatea și consistența pe care o au din cauza anumitor aspecte neschimbătoare ale structurii universului. Aceste aspecte neschimbătoare sunt numite „constante ale naturii”. Ele sunt valori fixe pentru fenomene cum ar fi tăria forței gravitaționale, masele particulelor elementare ale materiei, tăria electricității și magnetismului sau viteza luminii în vid. Poartă numele de constante „fundamentale” dacă nu pot fi exprimate în funcție de alte constante ale naturii. Putem măsura cu mare precizie majoritatea acestor cantități. Valorile lor numerice sunt cele care deosebesc universul nostru de alte universuri pe care ni le putem închipui și care ascultă de aceleași legi fizice. Dar, deși aceste cantități constante apar în toate legile naturii, ele se află la rădăcina celui mai adânc mister legat de structura universului. *De ce au valorile particulare pe care le au?* Fizicienii au visat dintotdeauna să elaboreze o teorie completă a fizicii în care valorile constantelor fundamentale să fie prezise sau explicate. Mulți savanți de renume au încercat, dar niciunul n-a izbutit să

lămurească fie cât de puțin acest mister.

încercările recente de a obține o descriere cuantică a universului și a stării sale inițiale au scos la iveală în mod neașteptat o posibilă cale de a explica valorile constantelor din natură. Ideea de bază a cercetării funcției de undă a universului, inițiată de James Hârtie și Stephen Hawking, a fost de a presupune că universul, la densitățile uriașe la care atributele cuantice devin covârșitoare, se comportă ca o minge cvadridimensională. Apoi însă, unii cosmologi au început să se întrebe ce s-ar întâmpla dacă suprafața mingii nu ar fi uniform netedă: să presupunem că ar exista niște tuburi care ar lega o parte a suprafeței de alta (vezi figura 7.1). Aceste conexiuni tubulare au fost numite „găuri de vierme” [*wormholes*]. Ele sunt legături între regiuni spațio-temporale care altminteri ar fi inaccesibile una alteia.

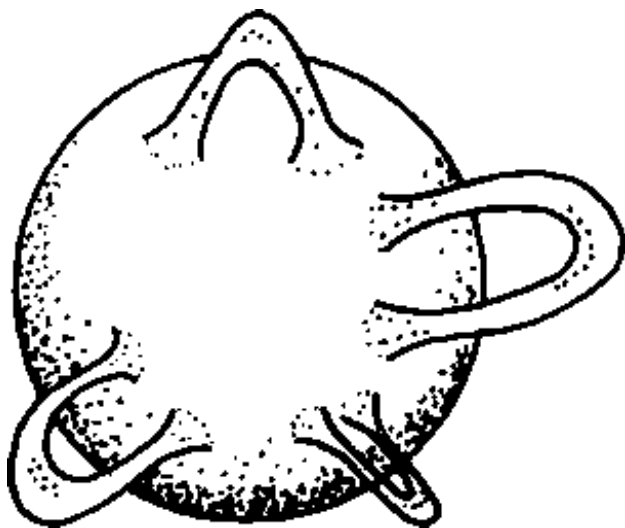


Figura 7.1. Spațiu în care există conexiuni „gaură de vierme” legându-l de sine însuși.

S-a ajuns la această idee din mai multe motive. Unul dintre ele este tendința fizicienilor de a mai meșteri ceva

la imaginea despre lume pentru a vedea dacă nu cumva apare vreun element nou care să explice una sau alta dintre enigmele nedelegate ale naturii. Există însă un imperativ mai concret. Imaginea intuitivă despre spațiul-timp la și înainte de timpul Planck (10^{-43} secunde) era aceea de spumă turbulentă dominată de incertitudinea cuantică. Prezența găurilor de vierme cu un diametru egal cu distanța străbătută de lumină la acel moment (aproximativ 10^{-33} centimetri) este o consecință probabilă a stării de interconexiune haotică a spațiului.

Această lărgire a reprezentării noastre privind natura globală a spațiului produce o creștere năucitoare a complexității posibile a universului. El ar putea fi alcătuit dintr-un număr mare (sau chiar infinit) de regiuni extinse ale spațiului conectate la ele însele prin găuri de vierme. În figura 7.2 e prezentată o situație în care există un număr de „universuri-copii” [*baby universes*] interconectate.

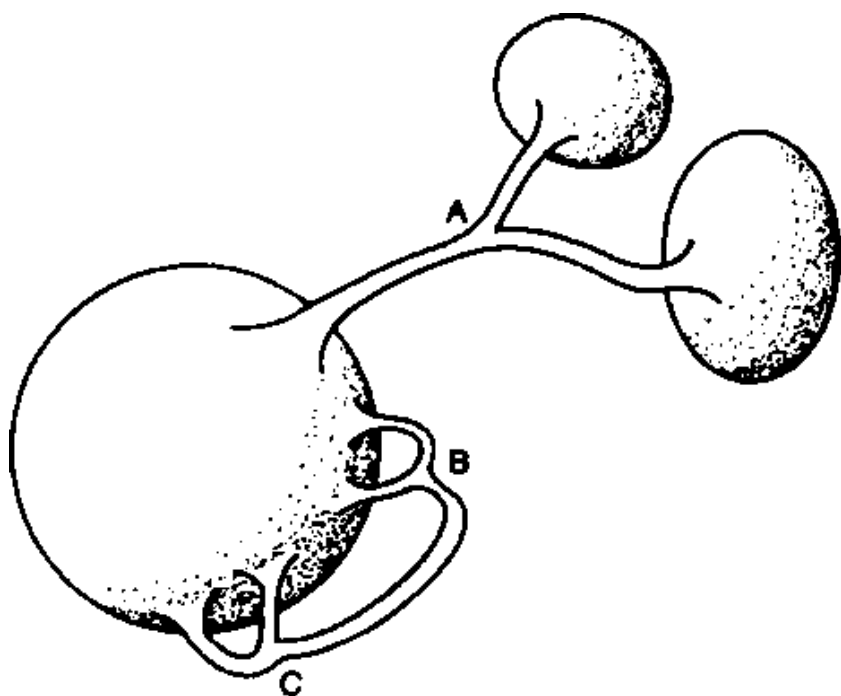


Figura 7.2. Rețea de găuri de vierme care nu îndeplinește condițiile aproximației găurii de vierme diluate: găurile de vierme se separă de „universul-mamă” pentru a forma „universuri-copii” (A) și unesc găuri de vierme cu alte găuri de vierme (B și C) de pe universul-mamă.

Pentru a înțelege ce se întâmplă în asemenea situații, să considerăm tipul cel mai simplu de conexiuni gaură de vierme, în care se permite găurilor de vierme să lege doar universurile-copii. Această simplificare poartă numele de „aproximația găurii de vierme diluate”, pentru că e analogul presupunerii simplificatoare folosită pentru descrierea comportamentului gazelor obișnuite. Aproximația gazului diluat poate fi făcută deoarece moleculele de gaz petrec mult mai mult timp deplasându-se între două ciocniri succesive decât în cursul procesului de ciocnire. Dacă această condiție nu e îndeplinită – de pildă, în cazul în care gazul se condensează într-un lichid –, comportamentul este mult mai interactiv. Aproximația găurii de vierme diluate e o simplificare a tipului de interacții admise între universurile-copii. Ea presupune că găurile de vierme leagă între ele numai regiuni mari, netede, și că ele nu se scindează în două tuburi, nici nu se unesc cu alte găuri de vierme (vezi figura 7.3).

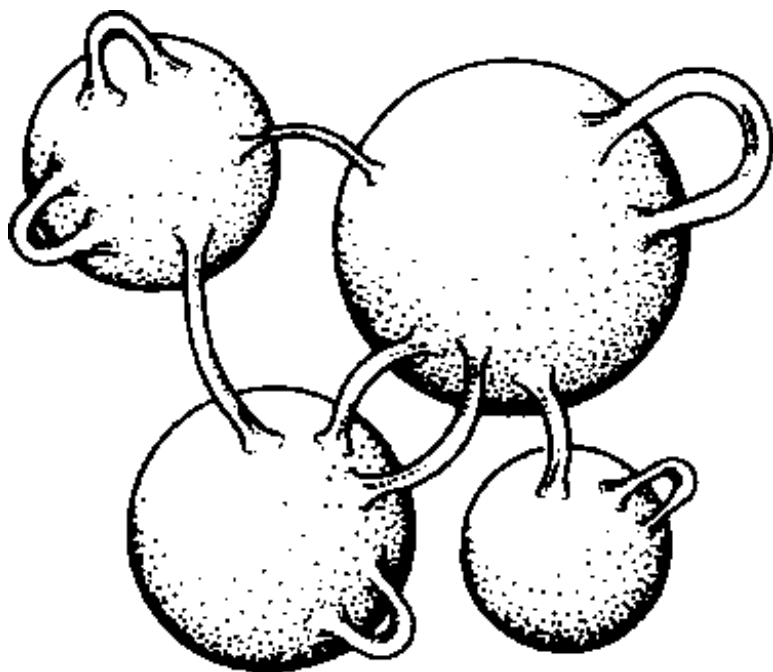


Figura 7.3. Mai multe „universuri-copii” legate prin găuri de vierme și posedând și alte conexiuni gaură de vierme care le leagă de ele însele. Aceste găuri de vierme nu unesc găuri de vierme cu alte găuri de vierme, nici nu se scindează în două sau mai multe găuri de vierme. Această situație îndeplinește condițiile „aproximației găurii de vierme diluate”.

Toate bune și frumoase, dar nimic mai mult, dacă ar fi doar ce pare să fie – o generalizare de dragul generalizării. Însă schema găurii de vierme se dovedește a oferi mult mai mult. Valorile constantelor naturii din fiecare regiune mare a universului ar putea fi acum determinate de rețeaua conexiunilor gaură de vierme fluctuante cu acea regiune. Dar pentru că legăturile gaură de vierme posedă toate atributele incertitudinii cuantice, constantele nu vor fi determinate exact, ci numai statistic.

Cel mai simplu de studiat era celebra „constantă cosmologică” – termenul introdus de Einstein în

ecuațiile relativității generale pentru a obține un model static de univers, termen pe care mai târziu l-a abandonat. Constanta cosmologică crea o forță repulsivă cu rază lungă de acțiune pentru a se opune forței de atracție gravitațională dintre mase. Deși am putea pur și simplu ignora posibilitatea acestei adăugiri la legea gravitației, așa cum au făcut în general cosmologii, nu cunoaștem niciun motiv ca ea să nu apară în ecuațiile lui Einstein. E un detaliu sâcâitor. Chiar dacă nu poate împiedica universul să se dilate, ea ar putea totuși modifica ritmul în care universul se dilată astăzi. Observațiile astronomice asupra ritmului de expansiune a universului arată că, dacă există, constanta cosmologică este incredibil de mică. Exprimată numeric, ea trebuie să fie mai mică de 10^{-120} ! Acest număr e atât de mic încât sugerează că ar putea exista o lege necunoscută a naturii care să impună ca el să fie exact zero. Toate studiile asupra comportamentului particulelor elementare și câmpurilor de energie din universul timpuriu par să indice însă exact contrariul. Nu numai că e de așteptat să existe o constantă cosmologică, dar valoarea ei prezisă trebuie să fie uriașă – cu mult mai mare decât cea conformă cu observațiile asupra expansiunii din prezent – poate chiar de 10^{120} ori mai mare!

În 1988, fizicianul american Sidney Coleman a făcut o descoperire remarcabilă. Dacă un univers ar lua naștere cu o constantă cosmologică adăugată forței gravitației, efectul ei asupra găurilor de vierme ar fi crearea unei presiuni opuse care ar anula propriul ei efect antigravitațional până la nivelul incertitudinii cuantice intrinseci. Includerea fluctuațiilor găurii de vierme conduce deci la predicția că atunci când un univers-copil devine mare (ca universul nostru vizibil de astăzi) valoarea copleșitor de probabilă a constantei cosmologice din acel univers e zero, după cum se vede în figura 7.4.

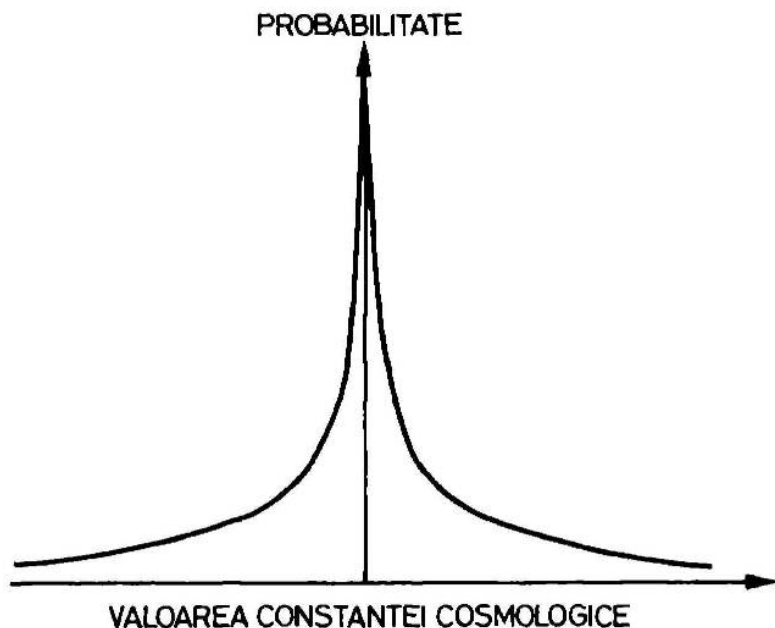


Figura 7.4. Probabilitatea de a obține o anumită valoare pentru constanta cosmologică, ca urmare a fluctuațiilor găurii de vierme. Probabilitatea are un maximum pronunțat în jurul valorii zero.

Până acum, această idee nu a fost extinsă ca să se obțină o predicție pentru una din constantele naturii diferite de zero, așa cum sunt masa sau sarcina electrică a electronului. E totuși interesant de luat în considerare natura și interpretarea unei asemenea predicții.

Să presupunem că am putea calcula distribuția probabilității pentru o constantă fundamentală – de pildă, tăria forței electromagnetice – din universul de astăzi. Rezultatul ar putea arăta ca oricare din cele prezentate în figura 7.5.

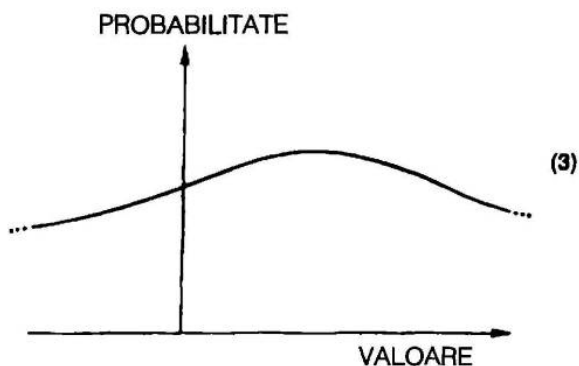
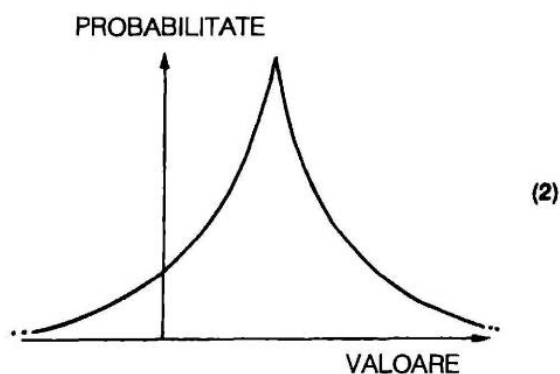
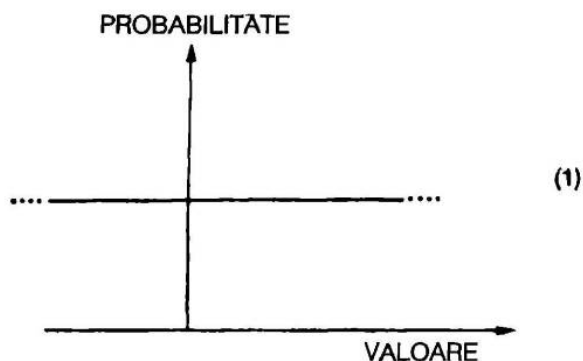


Figura 7.5. Trei predicții posibile pentru valorile observate ale constantelor din natură, așa cum ar putea rezulta din teoria „găurilor de vierme”: (1) probabilitate egală pentru orice valoare; (2) o anumită valoare este în mod clar mai probabilă; (3) probabilitate împrăștiată într-un domeniu larg de valori, fără un vârf foarte pronunțat.

În primul caz, toate valorile constantei sunt egal probabile, iar teoria găurilor de vierme nu face vreo predicție pe care s-o putem testa în raport cu valoarea observată a constantei. În al doilea caz, constanta este extrem de probabil să aibă valoarea din vârful graficului. Majoritatea cosmologilor interpretează un asemenea vârf ca reprezentând situația pe care trebuie s-o observăm, pentru că identifică cea mai probabilă valoare. Dacă distribuția probabilității pentru valoarea constantei gravitaționale a lui Newton ar avea un maximum accentuat în jurul valorii observate, ar trebui să privim acest rezultat ca pe un succes uimitor al teoriei găurilor de vierme. Am putea de asemenea să folosim observațiile asupra constantelor naturii pentru a testa teoriile noastre privind gravitația cuantică înainte de timpul Planck. Din păcate, se dovedește prea dificil să extragem asemenea predicții din teorie.

După cum am văzut, mulți fizicieni cred că trebuie să existe o descriere unică a legilor naturii care să reunească tot ce știm despre forțele diferite ale gravitației, electricității, magnetismului, radioactivității și fizicii nucleare. Această expresie unificată a legilor naturii a fost numită „Teoria a tot ce există” [*Theory of Everything*], iar una din speranțele fizicienilor în privința ei este că va impune constantelor naturii un singur set de valori logic coerente. Dacă am găsi „Teoria a tot ce există”, ea ar trebui să ne dea valorile constantelor fundamentale – iar acesta ar fi testul ultim al unei asemenea teorii. Dar, chiar dacă „Teoria a tot ce există” ar stabili valorile inițiale ale constantelor naturii în fiecare univers „mamă” și „copil”, conexiunile gaură de vierme dintre universuri ar produce fluctuații imprevizibile care ar modifica valorile acestor constante. Valorile lor măsurate s-ar îndepărta de cele date *ab initio*. Prin urmare, valorile lor observate în prezent nu e neapărat necesar să corespundă celor stabilite de

„Teoria a tot ce există”.

Să considerăm acum ultimul dintre cele trei cazuri ipotetice din figura 7.5. În cazul (3) probabilitatea e împrăștiată relativ egal într-un domeniu larg de valori posibile. Există o cea mai probabilă valoare – dar maximul nu e pronunțat. Aceasta ridică tot felul de întrebări dificile. De ce trebuie să comparăm observațiile din universul nostru cu predicțiile pentru universul cel mai probabil? De ce să ne așteptăm ca universul nostru să se numere printre universurile „cele mai probabile”, într-un anume sens cuantic? Vom arăta că avem toate motivele să ne așteptăm ca universul nostru să *nu* se afle printre cele mai probabile.

În primul capitol al povestirii noastre am introdus noțiunea de univers în expansiune și am arătat că vârsta unui asemenea univers este strâns legată de evoluția observatorilor. Un univers bătrân va produce în mod necesar stele, care produc elementele nucleare mai grele decât heliul cerute de evoluția ulterioară a complexității. În mod asemănător, putem să ne punem problema de ce existența observatorilor cum suntem noi (sau a observatorilor care nu seamănă neapărat cu noi) presupune ca valorile numerice ale constantelor naturii să nu fie prea diferite de cele observate de noi. Dacă tăria forței gravitaționale ar diferi puțin sau dacă tăria forței electromagnetice ar fi ușor perturbată, atunci nu ar putea exista stele stabile, iar echilibrul fin al proprietăților nucleelor, atomilor și moleculelor, echilibru care face viața cu putință, ar fi distrus. Biologii cred că evoluția spontană a vieții necesită prezența carbonului, cu toate proprietățile sale care permit stabilirea legăturilor chimice și care-l fac indispensabil pentru apariția ADN-ului și ARN-ului, moleculele elicoidale ale vieții. Prezența carbonului în univers depinde nu numai de vârsta și dimensiunea universului, ci și de coincidențele aparent uimitoare între acele constante ale naturii care determină nivelurile de

energie ale nucleelor. Când reacțiile nucleare din stele combină două nuclee de heliu pentru a produce beriliu, suntem la numai un pas de producerea carbonului prin alipirea unui alt nucleu de heliu. Această reacție însă e prea lentă pentru a produce carbon într-o cantitate importantă. Pornind de la faptul că noi existăm cu adevărat în univers, Fred Hoyle a făcut încă din 1952 o previziune uimitoare. El a prezis că nucleul de carbon ar putea avea un nivel de energie cu puțin mai mare decât suma energiilor nucleelor de heliu și beriliu. Aceasta are drept consecință producerea unei reacții heliu-beriliu extrem de rapide, deoarece combinarea celor două nuclee ocupă o stare numită „rezonantă” – o stare care corespunde unui nivel de energie natural.^[6] S-a dovedit că Hoyle avea dreptate. Fizicienii nucleariști au fost uimiți să descopere un nivel energetic al nucleului de carbon până atunci necunoscut, exact acolo unde el prezisese că ar trebui să se afle. Fizicianul William Fowler de la California Institute of Technology, laureat al premiului Nobel pentru contribuțiile sale imense în domeniul astrofizicii nucleare, remarcă odată că predicția lui Hoyle a fost cea care l-a convins să lucreze în acest domeniu. Dacă cineva i-a putut spune unde să caute un nivel de energie nucleară doar reflectând asupra stelelor, înseamnă că astrofizica asta trebuie să fie bună la ceva!

În cazul în care constantele naturii ar fi ușor diferite, rezonanța heliului, beriliului și carbonului n-ar exista – și nici noi n-am exista, pentru că în univers ar fi foarte puțin carbon. Dar iată și a doua coincidență: odată produs carbonul, el s-ar putea transforma complet în oxigen prin reacțiile nucleare dintre carbon și alte nuclee de heliu. Numai că acestei reacții îi lipsește foarte puțin pentru a fi rezonantă, iar astfel carbonul supraviețuiește.

Aceste exemple ne spun că existența structurilor complexe din univers e cu puțință datorită unei

combinații de coincidențe legate de valorile constantelor din natură. Dacă aceste valori ar fi foarte puțin modificate, ar fi imposibilă dezvoltarea unor observatori conștienți. Nu putem trage nicio mare concluzie filosofică sau teologică din această situație norocoasă.⁽⁷⁾ Nu putem spune că universul a fost „proiectat” cu intenția de a exista observatori vii, că viața trebuia să existe, că ea există în altă parte în univers sau că va continua să existe. Unele din aceste conjecturi, sau toate, s-ar putea dovedi adevărate sau false.

Deocamdată, pur și simplu n-avem cum s-o știm. Tot ce putem spune este că, pentru ca universul să conțină observatori vii (ba chiar și numai atomi sau nucleele lor), constantele naturii – sau foarte multe dintre ele – trebuie să aibă valori extrem de apropiate de cele observate.

Ținând cont de toate acestea, să ne întoarcem la figura 7.5 (3). Să luăm în considerare domeniul îngust al valorilor constantei care permite evoluția complexității biologice. Domeniul care permite existența observatorilor va fi foarte mic și s-ar putea afla departe de valoarea cea mai probabilă prezisă de teorie (vezi figura 7.6). Compararea teoriei cu observația devine acum extrem de dificilă. De fapt, nu ne interesează valorile cele mai probabile ale constantelor. Ar trebui să ne intereseze doar valorile cele mai probabile care permit evoluția observatorilor. Exagerând puțin, dacă valoarea cea mai probabilă a tăriei gravitației conduce la universuri care trăiesc o miliardime de secundă, înseamnă că noi n-am putea trăi în cel mai probabil univers.

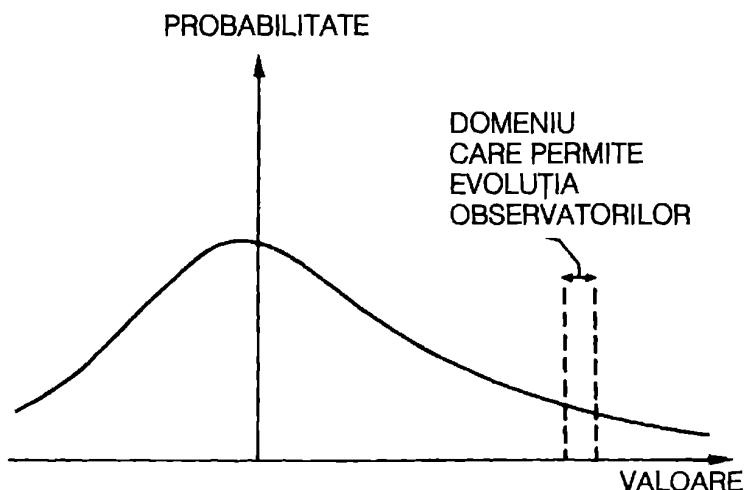


Figura 7.6. Posibilă predicție pentru probabilitatea de a găsi o constantă având o valoare particulară în universul de azi. Domeniul de valori care permit evoluția „observatorilor” e indicat în figură. Acest domeniu e foarte îngust pentru majoritatea constantelor fundamentale din natură. S-ar putea de asemenea să se afle departe de valoarea cea mai probabilă a constantei, așa cum e cazul aici.

Am aflat un lucru foarte important. Dacă dispunem de o teorie cosmologică ce face predicții statistice privind structura unui univers având origini cuantice, atunci, pentru a testa predicțiile în raport cu faptele observate, trebuie să cunoaștem *absolut fiecare* mod prin care cantitățile prezise sunt necesare pentru evoluția observatorilor. Domeniul valorilor în care o asemenea cantitate permite viața poate fi foarte îngust și extrem de improbabil dintr-o perspectivă absolută. Noi suntem însă obligați să trăim într-un univers atât de improbabil, pentru că în altul n-am putea exista. Drumul nostru întortocheat prin labirintul găurilor de vierme către începuturile timpului ne-a adus inevitabil în fața faptului că propria noastră existență e un element important în cercetarea originilor universului și a seriei

lui de proprietăți remarcabile.

Singura cale de a evita aceste concluzii e să presupunem că „viața” e un fenomen generic – un fenomen care ar apărea în orice condiții, indiferent de valorile constantelor naturii. Această perspectivă e greu de pus de acord cu cunoștințele și experiența noastră. În particular, evoluția vieții conștiente (nu numai a moleculelor complicate) pare o chestiune foarte delicată, chiar și în condițiile în care constantele iau valorile existente în universul nostru. Biologii subliniază că un număr imens de căi evolutive au sfârșit într-o fundătură. Nu negăm posibilitatea existenței unei mulțimi de alte forme de viață în universul de astăzi, dar credem că ele trebuie să se bazeze pe atomi – ba chiar și pe carbon – pentru a evolua în mod spontan.

Pot exista, desigur, alte forme de viață; de pildă, suntem pe cale să producem forme simple de viață bazate pe siliciu. În prezent, studiul a ceea ce e cunoscut sub numele de „viață artificială” (diferită de „inteligența artificială”) e un domeniu fascinant al științei. El reunește fizicieni, chimiști, matematicieni, biologi și informaticieni pentru a studia proprietățile sistemelor complexe care posedă unele din proprietățile (sau pe toate) asociate „lucrurilor însuflețite”. Majoritatea acestor studii folosesc programe grafice de calculator pentru a simula comportamentul sistemelor complexe care interacționează cu mediul, se dezvoltă, se înmulțesc și așa mai departe. Dacă asta se poate numi „viață” rămâne de văzut, însă în ultimă instanță asemenea studii ar trebui să dezvăluie condițiile esențiale pentru apariția structurilor suficient de complexe ca să fie numite „observatori conștienți”.

8.

Noi dimensiuni

„De câte ori ți-am spus că, după ce ai eliminat imposibilul, ceea ce rămâne, oricât de improbabil ar părea, trebuie să fie adevărul!”

Semnul celor patru

De pe la mijlocul anilor '80, căutarea „Teoriei a tot ce există” a început să fie dominată de noțiunea de superstringuri.^[8] Dacă încercările anterioare de a găsi legile ultime ale fizicii particulelor se concentrau asupra descrierilor matematice în care entitățile fundamentale erau puncte fără dimensiune, teoria superstringurilor folosește ca ingrediente fundamentale linii sau bucle de energie. Prefixul „super” se referă la simetria specială pe care aceste stringuri o posedă și grație căreia pot conduce la unificarea descrierii particulelor elementare de materie și diferitelor forme de radiație din natură. Ideea că particulele elementare sunt mici bucle pare ciudată, dar aceste bucle seamănă mai curând cu benzile elastice: ele posedă o tensiune care depinde de temperatura mediului. La temperatură joasă, tensiunea devine foarte înaltă, iar buclele se vor contracta comportându-se ca niște puncte. Prin urmare, în condițiile relativ moderate care există astăzi în univers, stringurile au cu o foarte bună aproximație un comportament de puncte și sunt în acord cu predicțiile

fizicii energiilor joase, la fel ca particulele elementare punctiforme. Se știe însă de multă vreme că descrierea punctiformă conduce la rezultate absurde când o aplicăm la condițiile de energie sau temperatură foarte ridicate. Mai mult, modelul punctiform refuză cu încăpățănare să ne dea posibilitatea de a armoniza gravitația cu celelalte trei forțe – electromagnetismul și forțele nucleare tare și slabă. Dimpotrivă, teoria stringurilor se comportă minunat la temperaturi ridicate, iar gravitația – departe de a fi exclusă – e necesar să fie prezentă pentru a se uni cu celelalte forțe din natură. Rezultatele absurde dispar, iar toate proprietățile observate în fizica particulelor elementare pot fi în principiu obținute prin calcul din teorie (deși până acum nimeni nu a fost în stare s-o facă).

Toate acestea sună foarte bine. Numai că există un obstacol. Teoriile superstringurilor pot avea aceste mult-dorite proprietăți doar în universuri cu mai multe dimensiuni spațiale decât cele trei cu care suntem obișnuiți. Primele modele elaborate cereau fie nouă, fie douăzeci și cinci de dimensiuni spațiale! A început apoi căutarea unui proces natural care să fi avut loc în apropierea epocii Planck și prin care, dacă universul a început de pildă cu nouă dimensiuni spațiale, toate dilatându-se în mod egal, șase dintre aceste dimensiuni să rămână blocate la mărimea universului din acel timp – 10^{-33} cm –, iar celelalte trei să continue să se dilate până la valoarea de azi, când au ajuns să fie de 10^{60} ori mai mari decât primele șase (vezi figura 8.1). Conform acestei teorii, dimensiunile suplimentare rămân în prezent blocate la scara lungimii Planck, astfel că efectele lor sunt indiscernabile – nu doar în experiența vieții de zi cu zi, ci și în evenimentele create până acum prin experimente de fizică la energii înalte.

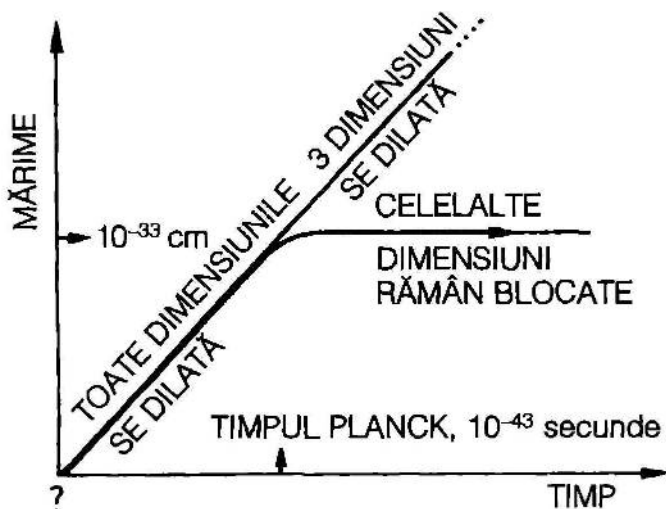


Figura 8.1. Variația cu timpul a mărimii până la care diferitele dimensiuni ale spațiului se dilată, într-un univers de superstringuri. Universul începe cu toate dimensiunile dilatăndu-se la fel, dar după timpul Planck, 10^{-43} secunde, doar trei dimensiuni spațiale continuă să se dilate, devenind cele pe care le cunoaștem azi. Mărimea lor a ajuns la cel puțin 10^{27} centimetri și formează spațiul universului vizibil. Restul au rămas blocate; ar fi imperceptibile pentru noi acum, fiindcă ele locuiesc într-un univers a cărui mărime e de doar 10^{-33} centimetri. Deocamdată nu există vreo dovadă provenită din observații că aceste dimensiuni spațiale suplimentare există

Cum ar fi putut avea loc această blocare a dimensiunilor suplimentare rămâne deocamdată o problemă nerezolvată. Dacă a avut cu adevărat loc, studiul universului timpuriu devine mult mai dificil. S-ar putea să existe un principiu profund al naturii care să impună ca trei și numai trei dimensiuni spațiale să continue expansiunea și să devină foarte mari, ca acelea pe care le întâlnim azi în univers. După cum s-ar putea și ca numărul dimensiunilor mari să fi fost determinat în mod aleator. Mai mult, acest număr ar putea fi diferit de la o regiune a universului la alta.

Numărul dimensiunilor spațiale mari joacă un rol-cheie în toate procesele care pot avea loc în univers. E de remarcat că universurile cu trei dimensiuni spațiale mari au caracteristici excepționale. Dacă ar exista mai mult de trei dimensiuni mari, atunci nu ar putea exista atomi stabili și nici orbite planetare stabile în jurul stelelor. Undele au de asemenea un comportament unic în spațiul cu trei dimensiuni. Dacă numărul dimensiunilor spațiale e par – de pildă, 2, 4 sau 6 –, atunci semnalele ondulatorii reverberează; altfel spus, semnale trimise la momente diferite pot sosi în același timp. În spații cu un număr impar de dimensiuni, fenomenul nu are loc; semnalele nu au reverberații. Dar, în toate spațiile cu număr impar de dimensiuni diferit de trei, semnalele ondulatorii vor fi distorsionate. Doar în trei dimensiuni undele se propagă într-o manieră compactă, nedistorsionată. Din aceste motive rezultă că observatorii vii pot exista numai în universuri cu trei dimensiuni spațiale mari (deși s-au făcut speculații interesante despre ce s-ar întâmpla în două dimensiuni), din cauza absenței în spațiile cu dimensiuni suplimentare mari a oricărei structuri (cum ar fi atomii) menținută prin electromagnetism și forța nucleară tare.

Am văzut că, dacă există trei dimensiuni spațiale mari datorită unui principiu profund al naturii, înseamnă că suntem foarte norocoși. Dacă numărul dimensiunilor e un rezultat întâmplător al evenimentelor petrecute la începutul timpului – sau dacă variază de la un loc la altul, dincolo de orizontul universului nostru vizibil de azi –, atunci situația seamănă cu determinarea constantelor naturii prin fluctuațiile găurilor de vierme. Am putea *calcula probabilitatea* de a avea trei dimensiuni spațiale, dar, oricât de mică ar fi ea, știm că trebuie să ne găsim într-un univers cu exact trei dimensiuni spațiale mari, pentru că n-am fi putut apărea în niciun altul.

Directiile speculative în care înaintează frontierele

cosmologiei și fizicii energiilor înalte pe măsură ce ele explorează ramificațiile noilor teorii matematice au scos în evidență o trăsătură generală a cosmologiei. Ea nu se conformează întrutotul încercărilor tradiționale de a defini știința. Filosofi ai științei precum Karl Popper insistă asupra necesității ca, pentru a avea sens sau pentru a fi „științifice”, afirmațiile să fie cumva testabile. În științele bazate pe experiențe de laborator, condiția e relativ lesne îndeplinită. În principiu, am putea efectua orice experiment am dori – deși în practică ar putea apărea constrângeri financiare, juridice sau morale. În astronomie situația e diferită. Nu avem posibilitatea să efectuăm experimente asupra universului; îl putem observa în fel și chip, dar nu putem face experimente direct asupra lui. În loc să efectuăm experimente, căutăm corelații între elemente. Când observăm mai multe galaxii cercetăm dacă toate cele mari sunt în același timp și foarte luminoase, dacă cele în formă de spirală conțin mai mult gaze și praf și așa mai departe. În cosmologie, de asemenea, situația diferă de cea din științele terestre, în sensul că observațiile asupra universului sunt perturbate într-o manieră care nu poate fi corectată pur și simplu prin repetarea experimentului în condiții diferite. Am explicat de ce trăim în mod necesar după ce universul s-a dilatat timp de miliarde de ani și de ce nu vedem decât o parte din întregul univers (posibil infinit). Am subliniat de asemenea că una dintre consecințele variației proprietăților universului de la un loc la altul e că observatorii pot apărea numai în anumite regiuni. Cosmologia este un studiu în care datele disponibile vor fi întotdeauna mai puține decât ne-am dori. În plus, unele din datele noastre sunt distorsionate pe alte căi. Galaxiile strălucitoare sunt mai ușor de văzut decât cele palide. Lumina vizibilă e mai ușor de detectat decât razele X. Arta unui bun astronom care face observații e de a înțelege distorsiunile pe care procesul de colectare

a datelor le-ar putea introduce.

Ținând cont de aceste caracteristici ale cosmologiei e interesant să examinăm o tendință tot mai importantă în studiile asupra originii universului. Am subliniat mai sus deosebirea dintre cei care încearcă să explice structura observată a universului în termenii evenimentelor petrecute la nașterea sa și cei care încearcă să arate că structura actuală a universului e rezultatul inevitabil al proceselor fizice din trecut, indiferent de felul în care a început. Modelul universului inflaționar e cea mai bună ilustrare a acestei din urmă abordări. Indiferent cum a început universul, trebuia să fi existat o regiune, suficient de mică pentru a rămâne netedă datorită interacțiunilor dintre materie și radiație, care ar fi putut trece printr-o perioadă de expansiune accelerată. Rezultatul este un univers care seamănă foarte mult cu al nostru: vechi, mare, fără monopoli magnetici și care se dilată într-un ritm uimitor de apropiat de pragul critic ce separă universurile „deschise” de cele „închise”. În ultimii ani însă, atenția s-a concentrat și asupra primei abordări. Oamenii de știință au început să cerceteze dacă există principii care dictează starea inițială a universului. Ei se află în căutarea unei noi „legi” a naturii – nu una care să guverneze transformările permise în starea universului de la un moment la cel următor, după apariția sa, ci o lege care să guverneze înseși condițiile inițiale.

Există câteva exemple interesante în acest sens. Cu unul dintre ele ne-am întâlnit deja: condiția „fără frontieră” propusă de James Hârtie și Stephen Hawking. Așa cum am observat, există precizări alternative ale stării inițiale care conduc la concluzii total diferite – între ele, cea propusă de Alex Vilenkin, prezentată în figura 6.7. Ne putem de asemenea imagina o stare inițială care pare naturală într-un alt sens: o stare complet aleatorie. În fine, există și direcția sugerată de Roger Penrose. El propune o metodă de a măsura nivelul

de dezordine în câmpul gravitațional al universului – o „entropie gravitațională” care crește în conformitate cu cea de-a doua lege a termodinamicii. Pare foarte probabil ca o asemenea entropie să existe. Hawking a arătat că într-adevăr câmpurile gravitaționale ale găurilor negre au proprietăți termodinamice – dar găurile negre nu se dilată în timp, așa cum se întâmplă cu universul nostru, și nu știm deocamdată ce anume determină entropia gravitațională a unui univers *în expansiune*. Pentru o gaură neagră răspunsul e simplu: aria suprafeței frontierei găurii negre determină entropia ei gravitațională. Penrose și alții au sugerat că o anumită măsură a regularității universului asociată cu aria lui ne-ar putea da entropia sa gravitațională. Dacă ritmul expansiunii ar fi același în toate direcțiile și în toate locurile, entropia ar fi foarte mică. Dacă expansiunea ar diferi în mod haotic de la un loc la altul și de la o direcție la alta, entropia ar fi mare.

Indiferent care e măsura exactă a entropiei gravitaționale, vedem că, dacă ea crește cu timpul, atunci starea inițială a universului a fost una de entropie gravitațională foarte scăzută, poate chiar zero. Dacă am putea identifica cu precizie ce aspect anume al universului ne dă entropia lui gravitațională, am putea desprinde unele consecințe ale faptului că valoarea ei era foarte scăzută la începutul universului. Până acum, n-am reușit s-o facem.

Niciunul dintre aceste „principii” privind originea universului nu pare să fie calea de a rezolva marea problemă a cosmologiei. Toate sunt foarte speculative. Sunt idei de dragul ideilor. Există însă o condiție importantă pe care trebuie să o satisfacă *orice* încercare de a explica structura universului pe care-l observăm azi pornind de la principii prime.

Să ne amintim că am făcut distincția între universul ca întreg și acea parte finită a lui pe care lumina a avut timp s-o străbată de la începutul său pentru a ajunge la

noi.

Am numit această parte „universul vizibil”. Universul vizibil are cu necesitate o mărime finită. Când spunem că vrem să explicăm structura universului, spunem de fapt că vrem să explicăm forma universului vizibil. Dar *universul*, în întregul lui, ar putea fi finit sau infinit. Nu o vom putea afla niciodată. Dacă e infinit ca mărime, atunci universul vizibil va fi întotdeauna o parte infinitezimală a întregului.

Aceste limitări pun un mare semn de întrebare asupra utilității marilor principii legate de starea inițială a universului ca întreg. În imaginea noastră despre expansiunea universului, partea vizibilă s-a dilatat pornind de la un punct sau de la o minusculă regiune a stării inițiale, așa cum se arată în figura 8.2.

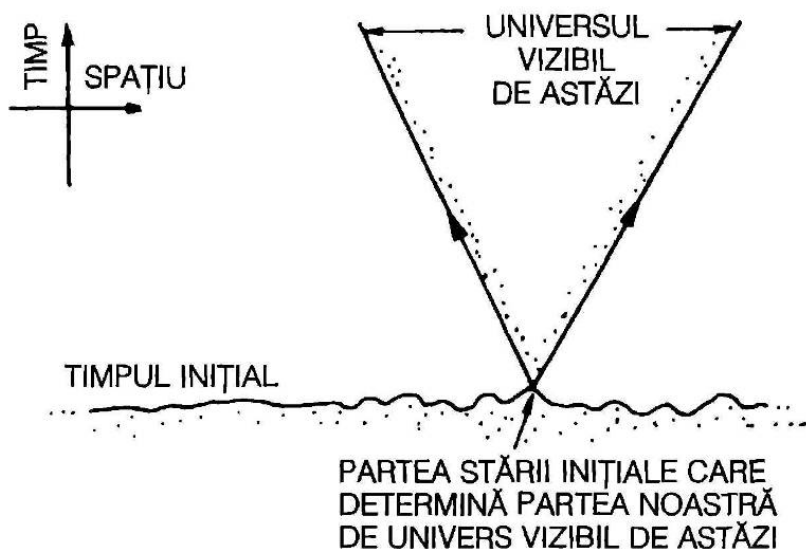


Figura 8.2. Universul nostru vizibil de astăzi se dilată cu viteza luminii pornind de la un punct din starea inițială a universului. Porțiunea observată a universului este determinată de condițiile din acel punct, nu de media condițiilor întregii stări inițiale, care a fost dictată de vreun „principiu” guvernând condițiile inițiale.

Structura universului vizibil de astăzi e doar imaginea expandată a condițiilor dintr-o regiune minusculă a stării inițiale. Pe de altă parte, marele „principiu” ne dă o medie a stării inițiale a întregului univers. Aceasta poate fi corectă, dar nu de ea avem nevoie pentru a înțelege universul vizibil. Trebuie să cunoaștem situația particulară, locală, existentă în minuscula regiune a stării inițiale care a devenit apoi universul nostru vizibil. Această regiune putea fi într-un fel atipică, din moment ce s-a extins ajungând la o stare în care se pot dezvolta observatori. Am văzut că apariția observatorilor cere ca regiunea să posede multe proprietăți neobișnuite. Universul putea să fi început într-o stare de entropie gravitațională minimă, dar e puțin probabil ca aceasta să explice structura universului vizibil, pentru că universul vizibil putea să fi rezultat din expansiunea unei fluctuații anormale – și nu din starea medie pe care condiția de entropie minimă o prescrie. Mai mult, limitarea cunoștințelor noastre empirice despre univers la regiunea vizibilă ne face să nu putem niciodată testa consecințele unui model pentru întreaga stare inițială a universului. Vedem doar consecințele evoluției unei părți infime din starea inițială. Poate că într-o bună zi vom reuși să spunem ceva despre originile propriei noastre vecinătăți cosmice. Dar nu vom cunoaște niciodată originile universului *ca întreg*. Cele mai adânci secrete rămân de nedezlegat.

Bibliografie

Capitolul 1

- Barrow, John D., Joseph Silk, *The Left Hand of Creation: The Origin and Evolution of the Universe*, ed. a doua, New York, Oxford University Press, 1994.
- Cornell, James, ed., *Bubbles, Voids, and Bumps in Time: The New Cosmology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989. Ferris, Timothy, *Coming of Age in the Milky Way*, New York, William Morrow, 1988.
- Gribbin, John, *In Search of the Big Bang*, Londra, Heinemann, 1986.
- Harrison, Edward R., *Cosmology: The Science of the Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1981.
- Long, Charles H., *Alpha: The Myths of Creation*, New York, George Braziller, 1963.
- Muller, Richard A., „The Cosmic Background Radiation and the New Aether Drift”, *Scientific American*, mai 1978, pp. 64—74. Munitz, Milton K., ed., *Theories of the Universe: From Babylonian Myth to Modern Science*, New York, The Free Press, 1957.
- Rowan Robinson, Michael, *Universe*, Londra, Longman, 1990. Silk, Joseph, *The Big Bang*, ed. a doua, San Francisco, W.H. Freeman, 1988.

Capitolul 2

- Barrow, John D., Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press, 1986.
- Berendzen, Richard, Richard Hart și Daniel Steeley, *Man Discovers the Galaxies*, New York, Science History Publications, 1976.
- Bertotti, Bruno, Roberto Balbinot, Silvio Bergia și Andrea Messina, *Modern Cosmology in Retrospect*, Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- Brush, Stephen G., *The Kind of Motion We Call Heat*, Amsterdam, North Holland, 1976, 2 vol.
- North, John D., *The Measure of the Universe*, New York, Dover, 1990.

Capitolul 3

- Glose, Frank E., *The Cosmic Onion: Quarks and the Nature of the Universe*, Londra, Heinemann, 1983.
- Davies, Paul C. W., *Space and Time in the Modern Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977.
- *** j'joe Edge *Oj Infinity*, Londra, Dent, 1981.
- Lederman, Leon, David Schramm, *From Quarks to the Cosmos: Tools of Discovery*, San Francisco, W. H. Freeman, 1989.
- Taylor, Roger J., *Hidden Matter*, Chichester, Ellis Horwood, 1991.
- Weinberg, Steven, *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*, ed. revizuită, New York, Basic Books, 1988.
- Wheeler, John A., *Gravity and Spacetime*, San Francisco, W. H. Freeman, 1990.

Capitolul 4

- Barrow, John D., *The World within the World*, Oxford, Oxford University Press, 1988.
- Carrigan, Richard A., W. Peter Trower, *Particle Physics in the Cosmos*, San Francisco, W. H. Freeman, 1989.
- *** *Particles and Forces: At the Heart of Matter*, San Francisco, W. H. Freeman, 1990.
- Georgi, Howard, „Grand Unified Theories”, in Davies, Paul, C. W., ed., *The New Physics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- Guth, Alan H., Paul Steinhardt, „The Inflationary Universe”, *Scientific American*, mai 1984, pp. 116-120.
- Krauss, Lawrence M., *The Fifth Essence: The Search for Dark Matter in the Universe*, New York, Basic Books, 1989.
- Pagels, Heinz R., *Perfect Symmetry*, Londra, M. Joseph, 1985.
- Trefil, James, *The Moment of Creation*, New York, Scribners, 1983.
- Tyron, Edward P., „Cosmic Inflation”, *The Encyclopedia of Physical Science and Technology*, vol. 3, New York, Academic Press, 1987.
- Zee, Anthony, *Fearful Symmetry: The Search for Beauty in Modern Physics*, New York, Macmillan, 1986.

Capitolul 5

- Barrow, John D., *Theories of Everything: The Quest for Ultimate Explanation*, Oxford, Oxford University Press, 1991.
- Chown, Marcus, *The Afterglow of Creation*, Londra, Arrow, 1993.
- Davies, Paul C. W., *Other Worlds*, Londra, Dent, 1980.
- Gamow, George, *Mr. Tompkins in Paperback*, Cambridge, Cambridge University Press, 1965.

- Gribbin, John, Martin Rees, *Cosmic Coincidences*, New York, Bantam, 1989.
- Hey, Anthony, Patrick Walters, *The Quantum Universe*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- Linde, Andrei D., „The Universe: Inflation out of Chaos”, *New Scientist*, martie 1985, pp. 14—16.
- Pagels, Heinz R., *The Cosmic Code: Quantum Physics As the Language of Nature*, New York, Simon & Schuster, 1982.
- Powell, C. S., „The Golden Age of Cosmology”, *Scientific American*, iulie 1992, pp. 9-12.
- Rowan Robinson, Michael, *Ripples in Time*, San Francisco, W.H. Freeman, 1993.
- Smoot, George, Keay Davidson, *Wrinkles in Time*, New York, William Morrow, 1994.

Capitolul 6

- Grümbaum, Adolf, „The Pseudo-problem of Creation in Cosmology”, *Philosophy of Science*, 56, 1989, p. 373.
- Hartle, James B., Stephen W. Hawking, „Wave Function of the Universe”, *Physical Review D*, 28, 1983, p. 2960.
- Hawking, Stephen W., *A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes*, New York, Bantam, 1988.
- *** „The Edge of Spacetime”, în Davies, Paul C. W., ed., *The New Physics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989.
- Isham, Christopher J., „Creation of the Universe as a Quantum Process” în Russell, Robert J., William Stoeger și George V. Coyne, ed., *Physics, Philosophy, and Theology*, Notre Dame, Ind.: University of Notre Dame Press, 1988.
- Vilenkin, Alex, „Boundary Conditions in Quantum

- Cosmology”, *Physical Review D*, 33, 1982, p. 3560.
- *** „Creation of Universes from Nothing”, *Physics Letters B*, 7, 1982, p. 25.

Capitolul 7

- Barrow, John D., Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press, 1986.
- Blau, Steven K., Alan H. Guth, „Inflationary Cosmology”, în Hawking, Stephen W. și Werner Israel, ed., *300 Years of Gravitation*, Cambridge, Cambridge University Press, 1987.
- Coleman, Sidney, „Why There Is Something Rather Than Nothing: A Theory of the Cosmological Constant”, *Nuclear Physics B*, 310, 1988, p. 643.
- Drees, Willem B., *Beyond the Big Bang: Quantum Cosmology and God*, La Salle, 111., Open Court, 1990.
- Halliwell, Jonathan J., „Quantum Cosmology and the Creation of the Universe”, *Scientific American*, decembrie 1991, pp. 28—35.
- Hawking, Stephen W., „Wormholes on Spacetime”, *Physical Review D*, 37, 1988, p. 904.
- Hoyle, Fred, *Galaxies, Nuclei, and Quasars*, Londra, Heinemann, 1964.
- Leslie, John, *Universes*, Londra, Macmillan, 1989.
- Weimberg, Steven, „The Cosmological Constant Problem”, *Reviews of Modern Physics*, 61, 1989, p. 1.

Capitolul 8

- Barrow, John D., „Observational Limits on the Time-evolution of Extra Spatial Dimensions”, *Physical Review D*, 35, 1987: 1805.
- *** *Theories of Everything: The Quest for Ultimate*

- Explanation*, Oxford, Oxford University Press, 1991.
- *** „Umprincipled Cosmology”, *Quarterly Journal of the Astronomical Society*, 34, 1993, p. 117.
- Davies, Paul C. W., Julian Brown, *Superstrings: A Theory of Everything*, Cambridge, Cambridge University Press, 1988.
- Green, Michael B., „Superstrings”, *Scientific American*, septembrie 1986, pp. 48—60.
- Peat, F. David, *Superstrings and the Search for a Theory of Everything*, Chicago, Contemporary Books, 1988.
- Penrose, Roger, *The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics*, Oxford, Oxford University Press, 1989.

[1] Un mod simplu de a privi, în acest context, noțiunea matematică de singularitate e următorul: Toate punctele de pe suprafața globului sunt determinate prin două valori bine precizate (latitudine și longitudine). în cazul polilor nord sau sud, latitudinea e bine precizată (90° latitudine nordică sau sudică), dar longitudinea e nedeterminată, nici n-are sens, câtă vreme nu te poți îndrepta spre est sau spre vest rămânând la aceeași latitudine de 90° (nordică sau sudică). Pe de altă parte, nu poți merge mai la nord de polul nord sau mai la sud de polul sud. Cu alte cuvinte, prin alegerea acestui sistem particular de coordonate, punctele de pe sferă numite polul nord și polul sud au proprietăți care le diferențiază de celelalte puncte, deși, din punct de vedere geometric, nu se deosebesc cu nimic de celelalte puncte. (N. red.).

[2] Personaj din *David Copperfield* de Charles Dickens, simbol pentru cei care nu-și pierd niciodată speranța. (N. red.).

[3] Electron-voltul e o unitate de măsură a energiei. Exprimarea masei în unități de energie are sens pe baza bine-cunoscutei relații a lui Einstein de echivalență între masă și energie : $E = mc^2$. (N. red.).

[4] Nici în prezent problema existenței particulelor WIMP nu a fost tranșată, în ciuda încercărilor de a stabili prezența lor în mod direct (folosind cristale de siliciu la temperaturi foarte joase, așa cum arată Barrow) sau indirect – prin detectarea neutrinilor proveniți din procesul de anihilare a particulelor WIMP, odată ce sunt captate de Soare. Dificultatea constă în faptul că particulele WIMP interacționează doar prin forțele gravitațională și slabă, nu și prin forțele electromagnetice și tare – cu ajutorul cărora, în general, prezența unor particule poate fi mai ușor pusă în evidență. (N. red.).

[5] Amuzantele peripeții ale domnului Tompkins, de care se folosește George Gamow pentru a explica neinițiatilor ideile fizicii, oferă o frumoasă descriere a felului în care ar arăta lumea dacă lungimile de undă cuantice ale obiectelor ar fi comparabile cu dimensiunile lor. Jocul de biliard devine o experiență teribilă pentru domnul Tompkins. (N. a.).

[6] În mecanica cuantică, rezonanța reprezintă un cuplaj extrem de puternic între stări cuantice cu energii foarte apropiate. În cazul nostru, „nivelul natural” este nivelul de energie al carbonului prezis de Hoyle. Acest cuplaj puternic între starea sistemului heliu + beriliu și starea carbonului crește mult probabilitatea reacției nucleare heliu + beriliu $\rightarrow$ carbon, cu carbonul în această stare energetică, față de probabilitatea de a obține din heliu și beriliu

carbon într-o altă stare energetică dintre cele cunoscute până la confirmarea ipotezei lui Hoyle. Noțiunea de rezonanță a fost preluată de mecanica cuantică din fizica clasică: supus la oscilații de frecvență foarte apropiată de o frecvență dată (frecvența de rezonanță), un sistem fizic poate suferi fenomene oscilatorii extrem de violente. (*N. red.*).

[7] Barrow se referă aici la ceea ce se numește „principiul antropic”, care spune în esență că studiile cosmologice trebuie să se concentreze asupra universurilor în care existența noastră e cu puțință. Autorul face o critică a principiului antropic în varianta lui tare, dominat de o perspectivă teleologică. (*N. red.*).

[8] Numele teoriei provine de la *string* (= coardă, în engleză). Am preferat formele româno-engleze „stringuri”, „superstringuri” etc., din moment ce ele au intrat ca atare în jargonul fizicienilor. (*N. red.*).